

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-218627

(43)Date of publication of application : 10.08.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

(21)Application number : 10-021139

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 02.02.1998

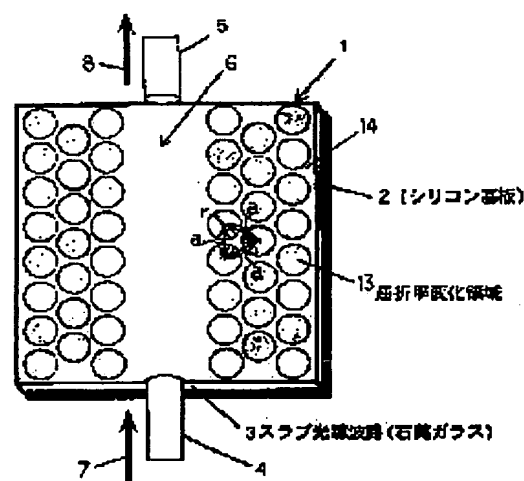
(72)Inventor : TACHIKAWA YOSHIKI  
KOBAYASHI JUNYA

## (54) PHOTONIC CRYSTAL WAVEGUIDE AND ITS MANUFACTURE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To stabilize characteristics of the photonic crystal waveguide and to reduce the manufacturing cost.

**SOLUTION:** The photonic crystal waveguide is provided with a photonic crystal 14 structure which has a slab optical waveguide 3 on the top surface of a substrate 2 and also has refractive index variation areas 13 with a different refractive index from that of the core layer of the slab optical waveguide 3 arranged in a lattice array shape at part of the slab optical waveguide 3. In this case, the refractive index variation areas 13 are formed of the same material as the material constituting the core layer of the slab optical waveguide 3. The refractive index variation areas 13 are arranged in the lattice array shape on both the sides of an optical waveguide area 6 where light is propagated. The refractive index of the core layers of the refractive index variation areas 13 is larger than that of the core layer of an area off the refractive index variation areas 13 and the relative index difference is about 10<sup>-4</sup> to 10<sup>-2</sup>. A unit lattice is in regular triangle array.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 15.07.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**\* NOTICES \***

**JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] It is the photograph nick crystal waveguide which is the construction material as the construction material which constitutes the core layer of said slab optical waveguide with said refractive-index change field same [ while having dielectric slab optical waveguide on the surface of a substrate, are the photograph nick crystal waveguide by which the photograph nick crystal structure by which the refractive-index change field which has the refractive index of the core layer of slab optical waveguide and a different refractive index has been arranged in the shape of a lattice was prepared in a part of said slab optical waveguide and ], and is characterized by to consist of construction material to which the refractive-index change processing by the optical inductive effect was performed.

[Claim 2] It is the photograph nick crystal waveguide characterized by being formed of refractive-index change processing according [ the core layer of said refractive-index change field ] to the optical inductive effect while the refractive-index change field which is the slab optical waveguide in which any layer is formed with an organic thin film on both sides of a core layer by the lower cladding layer and the up cladding layer, and has the refractive index of the core layer of slab optical waveguide and a different refractive index in said a part of slab optical waveguide is arranged in the shape of a lattice.

[Claim 3] Photograph nick crystal waveguide according to claim 1 or 2 characterized by arranging the refractive-index change field in the shape of a lattice at the both sides of the photoconductive wave field which light spreads, respectively.

[Claim 4] Photograph nick crystal waveguide according to claim 1 or 2 characterized by arranging said refractive-index change field in the shape of a lattice along with the end side of said slab optical waveguide.

[Claim 5] Vertical or photograph nick crystal waveguide according to claim 4 characterized by setting up aslant the photoconductive wave field which light spreads of the shape of a lattice prepared in the end side of said slab optical waveguide parallel to a refractive-index change field or.

[Claim 6] The grid train by said refractive-index change field is photograph nick crystal waveguide given in any 1 term of claim 1 characterized by being two or more grid trains from which a grid pitch differs thru/or claim 5.

[Claim 7] The unit lattice of said grid train is photograph nick crystal waveguide given in any 1 term of claim 1 characterized by being a regular-polygon array thru/or claim 6.

[Claim 8] It is photograph nick crystal waveguide given in any 1 term of claim 1 characterized by the refractive index of the core layer of said refractive-index change field being larger than the refractive index of the core layer of a field which separated from the refractive-index change field, and the relative index difference being about 10~4 to 10~2 thru/or claim 7.

[Claim 9] Said slab optical waveguide is photograph nick crystal waveguide given in any 1 term of claim 1 characterized by consisting of glass optical waveguide or organic optical waveguide or claim 3 thru/or claim 8.

[Claim 10] The manufacture approach of the photograph nick crystal waveguide characterized by to irradiate selectively an electron ray, SOR light, ultraviolet rays, or the near infrared rays through said up cladding layer at said core layer, to produce the refractive-index change by the optical inductive effect, and to produce said refractive-index change field after producing the slab optical waveguide which is the manufacture approach of the photograph nick crystal waveguide of said claim 1 thru/or claim 9, and consists of a lower cladding layer, a core layer, and an up cladding layer on said substrate.

[Claim 11] The manufacture approach of the photograph nick crystal waveguide characterized by making the organic optical waveguide which consists of a lower cladding layer, a core layer, and an up cladding layer exfoliate from said substrate in the manufacture approach of said claim 10, and manufacturing said photograph nick crystal waveguide according to claim 2.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention is set in the field of an optical transmission system, an optical switching system, or an optical instrumentation system, is applied to the optical filter which penetrates or (wavelength transparency of propagation light) prevents light wave length (wavelength limit of propagation light), an optical multiplexing splitter, an optical distribution compensation device, etc., concerning photograph nick crystal waveguide and its manufacture approach, and relates to an effective technique.

[0002]

[Description of the Prior Art] Photograph nick crystal waveguide is known as one of the optical filters used for an optical transmission system etc.

[0003] Photograph nick crystal waveguide is indicated by work "Photonic Crystals" Princeton University Press besides J.D.Joannopoulos, and 1995.pp94-pp104.

[0004] Drawing 10 and drawing 11 are drawings showing the conventional photograph nick crystal waveguide. The photograph nick crystal waveguide 1 has the structure where two or more air holes 9 were established in the shape of a lattice at the both sides of the photoconductive wave field 6 which the light of said slab optical waveguide 3 spreads while consisting of a substrate 2 and slab optical waveguide 3 prepared in the front face of this substrate 2. The refractive indexes of the part corresponding to the core layer of said slab optical waveguide 3 of this air hole 9 will differ on account of air, and will constitute the refractive-index change field 13.

[0005] The slab optical waveguide 3 consists of the lower cladding layer 10, a core layer 11, and an upper cladding layer 12, and said air hole 9 extends even in the lower layer lower cladding layer [ cladding layer / 12 / upper / up ] 10, and it forms cylinder space. Air enters in this air hole 9, and refractive indexes differ in the core layer 11 of the slab optical waveguide 3.

[0006] Moreover, the lattice of the air hole 9 fulfills the Bragg (Bragg) conditions, and constitutes the photograph nick crystal which is made to reflect only the light of predetermined wavelength and is made to spread.

[0007] When the input optical fiber 4 is connected to the end side of the photoconductive wave field 6 of the photograph nick crystal waveguide 1 and the output optical fiber 5 is connected to an other end side, only the light of wavelength which fulfills said Bragg condition turns into the output light 8, and the input light 7 into which it was put from the input optical fiber 4 to the photoconductive wave field 6 is taken out from the output optical fiber 5.

[0008] As shown in drawing 12 , after said air hole 9 forms the slab optical waveguide 3 on a substrate 2, it is formed of electron beam (EB:Electron Beam) lithography and reactive ion etching (RIE). The diameter of the air hole 9 is [ 0.6-0.8 micrometers and the pitch of 0.1-0.24 micrometers and the depth ] 0.18-0.36 micrometers. In addition, the upper bed of the air hole 9 is released.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In manufacture of the conventional photograph nick crystal waveguide, when producing the slab optical waveguide 3 on the front face of a substrate 2, it is producing by the following approaches.

[0010] (1) vapor growth (MO-CVD) -- law or liquid phase epitaxy (LPE) -- carry out sequential production

of the thin film which serves as the lower cladding layer 10 which constitutes the slab optical waveguide 3, a core layer 11, and the up cladding layer 12 by law etc.

[0011] (2) In case the slab optical waveguide 3 is produced with quartz glass etc., with an electric furnace, sinter and carry out the rarefaction of the glass produced on the substrate 2, and produce it.

[0012] these approaches -- setting -- the temperature of a substrate 2 -- said MO-CVD method and LPE -- by law, it becomes about 500-700 degrees C, and by sintering by said electric furnace, it becomes about 1300 degrees C and becomes an elevated temperature.

[0013] Control is difficult for such an elevated-temperature process.

[0014] It is difficult to process it well in the shape of a cylinder with submicron one, on the other hand, since the diameter of the air hole 9 is small although reactive ion etching (RIE) performs production of the air hole 9. For example, it is difficult to produce the air hole 9 with sufficient repeatability so that air hole 9 diameter may be different at the upper part and the pars basilaris ossis occipitalis and a predetermined Bragg condition may be fulfilled.

[0015] Furthermore, there are many thin film production processings, hole processings, and processing processes, and reduction of the production cost of photograph nick crystal waveguide is barred.

[0016] As mentioned above, according to the conventional manufacture approach, process control was difficult and it was not easy to, realize photograph nick crystal waveguide with sufficient repeatability to stability as a result.

[0017] The object of this invention has wavelength transparency and the wavelength limit property of propagation light in offering good photograph nick crystal waveguide and its manufacture approach.

[0018] Other objects of this invention have wavelength transparency and the wavelength limit property of propagation light in offering the approach of manufacturing good photograph nick crystal waveguide often [ repeatability ] and cheaply.

[0019] As new along [ said ] this invention a description as the other objects is clarified by description and the accompanying drawing of this description.

[0020]

[Means for Solving the Problem] It will be as follows if the outline of a typical thing is briefly explained among invention indicated in this application.

[0021] (1) the construction material as the construction material which constitutes the core layer of said slab optical waveguide with said refractive-index change field same [ while having slab optical waveguide on the surface of a substrate, are the photograph nick crystal waveguide by which the photograph nick crystal structure by which the refractive-index change field which has the refractive index of the core layer of slab optical waveguide and a different refractive index has been arranged in the shape of a lattice (array) was prepared in a part of said slab optical waveguide, and ] -- and it consists of construction material to which the refractive-index change processing by the optical inductive effect was performed. The refractive-index change field is arranged in the shape of a lattice at the both sides of the photoconductive wave field which light spreads, respectively. The unit lattice of said grid train has become a regular-polygon array, for example, a triangular pitch. The refractive index of the core layer of said refractive-index change field is larger than the refractive index of the core layer of a field which separated from the refractive-index change field, and the relative index difference is about 10~4 to 10~2. Said slab optical waveguide consists of glass optical waveguide or organic optical waveguide.

[0022] Such photograph nick crystal waveguide is manufactured by the following approaches.

[0023] After producing the slab optical waveguide which consists of a lower cladding layer, a core layer, and an up cladding layer on a substrate, an electron ray, SOR (synchrotron orbital radiation) light, ultraviolet rays, or the near infrared rays are selectively irradiated through said up cladding layer at said core layer, the refractive-index change by the optical inductive effect is produced, and said refractive-index change field is produced.

[0024] (2) It is the photograph nick crystal waveguide of the configuration of said means (1), and this photograph nick crystal waveguide is a slab optical waveguide configuration in which any layer is formed with an organic thin film on both sides of a core layer by the lower cladding layer and the up cladding layer.

[0025] In the manufacture approach of said means (1), such photograph nick crystal waveguide is

manufactured by making organic optical waveguide exfoliate from said substrate, after forming the slab optical waveguide which consists of organic optical waveguide on the surface of a substrate and considering as photograph nick crystal waveguide.

[0026] (3) In the configuration of said means (1) or a means (2), said refractive-index change field is arranged in the shape of a lattice along with the end side of said slab optical waveguide. Vertical or the photoconductive wave field which light spreads aslant parallel to the refractive-index change field of the shape of a lattice prepared in the end side of said slab optical waveguide or is set up.

[0027] (4) In the configuration of said means (1) thru/or a means (3), the grid trains by said refractive-index change field are two or more grid trains from which a grid pitch differs.

[0028] According to the means of the above (1), the refractive-index change field of (a) photograph nick crystal waveguide consists of construction material to which it is the same construction material as the construction material which constitutes the core layer of slab optical waveguide, and refractive-index change processing by the optical inductive effect was performed. For this reason, since it is fixed and magnitude does not change by the upper and lower sides like [ in the case of the conventional air hole ], the magnitude of each part of the depth direction of a refractive-index change field often comes to fulfill a Bragg condition, and a wavelength limit or wavelength transparency of propagation light can carry it out to high degree of accuracy. It can follow, for example, can be used as a highly efficient multiplexing / spectral separation component.

[0029] (b) In order to fulfill the Bragg condition which a refractive-index change field serves as an equilateral-triangle lattice, and becomes enough, guarantee a wavelength limit or wavelength transparency of a highly precise propagation light.

[0030] (c) a high-degree-of-accuracy dimension since the refractive-index change field arranged in the shape of an array irradiates selectively an electron ray, SOR light, ultraviolet rays, or the near infrared rays through the up cladding layer of slab optical waveguide in manufacture of photograph nick crystal waveguide at a core layer, the refractive-index change by the optical inductive effect is produced and it produces -- and the refractive-index change field where the dimension of each part in the depth direction is uniform can be manufactured.

[0031] (d) Since the refractive-index change field which has arranged photograph nick crystal waveguide in the shape of an array in the manufacture irradiates selectively an electron ray, SOR light, ultraviolet rays, or the near infrared rays through the up cladding layer of slab optical waveguide at a core layer, produces the refractive-index change by the optical inductive effect, is produced and does not need mechanical processing of etching like before etc. at all, it is very easy to produce and can attain reduction of a manufacturing cost.

[0032] (e) In case the photograph nick crystal by glass optical waveguide is made, since a special processing technique is not required, large low-pricing, raise in reliance, and fertilization can be attained.

[0033] (f) When it constitutes slab optical waveguide from organic optical waveguide, since it becomes a low-temperature process, production of optical waveguide becomes easy, and organic optical waveguide can aim at reduction of a manufacturing cost.

[0034] According to the means of the above (2), since it becomes the structure which removed organic slab optical waveguide from the substrate, no polarization depending-ization of a core layer in which photograph nick crystal waveguide carries out a photoconductive wave can be attained.

[0035] According to the means of the above (3), while said refractive-index change field is arranged in the shape of a lattice along with the end side of slab optical waveguide, vertical in parallel or since the photoconductive wave field which light spreads is set up aslant, the degree of freedom of an optical waveguide design becomes high to the grid train (array) by said refractive-index change field. That is, if light is made to advance at right angles to said grid train, outgoing radiation of the output light will be turned up and carried out in a grid train. Moreover, if light is made to advance aslant to a grid train, it will reflect in a grid train, and output light will have and carry out outgoing radiation of the predetermined include angle. Therefore, if an include angle is chosen, the propagation of light can also be bent at a right angle. Moreover, in the case of bending of such optical propagation, the bending loss also becomes small.

[0036] According to the means of the above (4), implementation of a char ping property is attained by forming the grid train in two or more grid trains from which a grid pitch differs.

[0037]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the operation gestalt of this invention is explained to a detail with reference to a drawing. In addition, in the complete diagram for explaining an operation gestalt, what has the same function attaches the same sign, and explanation of the repeat is omitted.

[0038] (Operation gestalt 1) Drawing 1 thru/or drawing 4 are drawings concerning the photograph nick crystal waveguide which is 1 operation gestalt (operation gestalt 1) of this invention, and its manufacture approach.

[0039] The photograph nick crystal waveguide 1 of this operation gestalt 1 has structure which formed glass optical waveguide as slab optical waveguide 3 on the substrate (silicon substrate) 2 which consists of silicon, as shown in drawing 1 and drawing 2.

[0040] Although the slab optical waveguide 3 is constituted by the lower cladding layer 10 by which sequential formation was carried out on the silicon substrate 2, a core layer 11, and the up cladding layer 12 as shown in drawing 2, each of these layers is formed by SiO<sub>2</sub> film (glass, such as quartz glass and fluoride glass).

[0041] The core layer 11 has added GeO<sub>2</sub> in order to enlarge a refractive index.

[0042] Moreover, in order to enlarge a refractive-index difference, hydrogen (H<sub>2</sub>) application of pressure is performed after formation of the up cladding layer 12.

[0043] The thickness of each class which constitutes the slab optical waveguide 3 is as follows. The thickness of about 15 micrometers and a core layer of the thickness of the lower cladding layer 10 and the up cladding layer 12 is several micrometers. Moreover, the relative index difference of a core and a clad is about 0.3 - 1%.

[0044] As shown in drawing 2, the field of the predetermined width of face along Chuo Line turns into the photoconductive wave field 6, and the refractive-index change field 13 is formed in the shape of a lattice (array) along with the both sides of this photoconductive wave field 6. Considering connection with an optical fiber, several micrometers - dozens of micrometers of the width of face of said photoconductive wave field 6 are desirable.

[0045] By a diagram, the refractive-index change field 13 constitutes 3 successive-installation eclipse and the unit lattice which consists of an equilateral-triangle grid (triangle lattice) between adjacent trains, respectively. Therefore, although a unit lattice is formed of 2 train array, since it is made three trains, the leakage of the light from between the refractive-index change fields 13 can be prevented, and the locked-in effect of light becomes high. Since the locked-in effect of light is furthermore heightened depending on a grid pattern, the array by many trains may be needed.

[0046] The diameter of 0.5 micrometers and the refractive-index change field 13 of the pitch of said equilateral-triangle grid is 0.45 micrometers.

[0047] The refractive index of the core layer of said refractive-index change field 13 becomes larger than the refractive index of the core layer which separates from the refractive-index change field 13, for example, relative index difference becomes about 10~4.

[0048] The crystal which carried out the lattice of these refractive-indexes change field 13 on the slab optical waveguide 3 is called the photograph nick crystal (two-dimensional photograph nick crystal) 14.

[0049] The photograph nick crystal 14 is formed by irradiating selectively the ultraviolet (UV) light or near-infrared light generated in the excimer laser of the high power from the outside etc. on the front face of the slab optical waveguide 3, and producing the refractive-index change by the optical inductive effect in the core layer of the slab optical waveguide 3.

[0050] The minute refractive-index change field 13 where the refractive index changed in the shape of [ of a radius  $r$  ] a cylinder is aligned regularly, for example, an equilateral-triangle grid is made to constitute at this time.

[0051] A crystal is the periodic array of an atom or a molecule, and a crystal lattice is produced when the fundamental small structure of an atom or a molecule is repeated spatially. Therefore, a crystal gives periodic potential to the electron which spreads the inside of it, and the crystal structure governs conductivity. Since especially a grid can introduce a gap into the energy band structure of a crystal, spreading the electron which had fixed energy by BURAGGU-like diffraction from an atom in the fixed direction is forbidden.



[0052] The optical analogy is a photograph nick crystal, and the periodic potential is given in the grid of an optical semi-conductor medium macroscopic instead of or a dielectric medium. [ an atom ] Therefore, in a photograph nick crystal, the reflected wave length region by the band gap, i.e., the Bragg diffraction, determined with grids structure and a lattice constant will exist.

[0053] Moreover, the magnitude of a refractive index is 1.53 in 1.46 and the fluorination polyimide mentioned later at quartz glass. Although refractive-index change is so good that it is large, the range of realistic refractive-index augend realizable [ with these ingredients ] is  $10^{-4}$  to  $10^{-2}$ .

[0054] Although it is desirable as a photograph nick crystal for the refractive-index difference of a cylindrical field and the field which is not so to be large generally, it lessens the number of grids and is advantageous to relative index difference obtaining about 0.7 and the reflection factor only with the same part large single or more figures with the conventional technique.

[0055] On the other hand, there is a fault that the pitch of a grid and a bore become small and processing becomes difficult.

[0056] On the other hand, the same effectiveness is theoretically expectable, if processing becomes easy and the number of grids is increased like this invention, when a refractive-index difference is as small as 0.01.

[0057] This situation is explained mathematically a little in more detail. Since it is easy, if the 1-dimensional Bragg optical waveguide grid with which the grid was located in a line at equal intervals along with straight-line waveguide is taken for an example, the photoelectrical force reflection factor in Bragg wavelength  $\lambda_B$  will be expressed with  $R = \tanh^2(\kappa L)$ , and will be decided by the product of the mode coupling coefficient  $\kappa$  and die-length  $L$  of a grid.

[0058] Thus, since the coupling coefficient is generally small when forming a grid by refractive-index change, it turns out that it is necessary to enlarge die-length  $L$  of the grid section for obtaining a high reflection factor, and to arrange much grid.

[0059] On the other hand, the input optical fiber 4 is connected to the end side of the photoconductive wave field 6 of said photograph nick crystal waveguide 1, and the output optical fiber 5 is connected to the other end side. Said input optical fiber 4 and the output optical fiber 5 consist of a single mode fiber, a distributed shift fiber, or a polarization maintenance fiber. For example, the single mode fiber is used with this operation gestalt.

[0060] Although drawing 1 shows typically the activity gestalt of the photograph nick crystal waveguide 1, as a actual product, the photograph nick crystal waveguide 1 is arranged in a container (package), and it becomes the configuration that the input optical fiber 4 and the output optical fiber 5 are supported in the state of an optical cable etc. with the optical fiber guide prepared at the container, respectively. Moreover, the photograph nick crystal waveguide 1 may be formed in some compound semiconductor substrates at the silicon substrate and glass substrate pan which constitute OEIC.

[0061] In such photograph nick crystal waveguide 1, if the light (input light 7) from the input optical fiber 4 is inputted into the end side of the photoconductive wave field 6 where a crystal lattice does not exist, said input light 7 will be reflected or penetrated as the photograph nick crystal as which the refractive-index change field 13 exists, when spreading and going to slab space. Only the light of wavelength which fulfills the so-called Bragg condition in that case is reflected as a crystal, and the light of the other wavelength penetrates a crystal. At this time, the reflected light produces an optical multi-luminous-flux interference. Consequently, the light of wavelength which fulfills a Bragg condition being shut up by the part without the grid of the slab optical waveguide 3, and spreading the photoconductive wave field 6 is allowed.

[0062] This multi-luminous-flux interference is effective in restricting passage wavelength. This propagation light wave suits in slight strength, when the pitch  $a$  of a grid is the integral multiple of wavelength, is weakened at the time of the integral multiple of wavelength  $(1+1/2)$ , and suits. Since it has such composition, it is possible to realize the optical filter which has a wavelength property easily compared with the conventional technique.

[0063] Below, the manufacture approach of such photograph nick crystal waveguide 1 is explained. As shown in drawing 3, the so-called glass optical waveguide 3a (slab optical waveguide 3) of the slab structure which forms the lower cladding layer 10, a core layer 11, and the up cladding layer 12 with quartz ( $\text{SiO}_2$ ) glass by flame hydrolysis or the ion-exchange method on a silicon substrate 2, and light shuts up in the two-dimensional direction and which is not is produced. In addition, a quartz-glass substrate and other

glass substrates are sufficient as a substrate 2.

[0064] In order to increase a refractive index to said core layer 11, impurities, such as germanium (GeO<sub>2</sub>) and Lynn (P), are set like a core formation fault, and it adds beforehand. With this operation gestalt 1, GeO<sub>2</sub> is added, for example. Moreover, after forming glass optical waveguide 3a, hydrogen (H<sub>2</sub>) pressure treatment may be performed.

[0065] The thickness of said lower cladding layer 10 is [ the thickness of several micrometers and the up cladding layer 12 of the thickness of about 15 micrometers and a core layer 11 ] about 15 micrometers. Moreover, the relative index difference of a core and a clad is about 0.3 - 1%.

[0066] Next, as shown in drawing 4, the part which forms the refractive-index change field 13 from the upper part of slab optical waveguide 3 front face through the glass phase mask 21 for the ultraviolet pulsed light (ultraviolet radiation) 20 generated in Kr-F excimer laser with an oscillation wavelength of 248nm, 193nm Ar-F laser, or an YAG laser (the 2nd or 4th higher-harmonic utilization) is irradiated.

[0067] Any of an electron ray, SOR light, ultraviolet rays, and a near infrared ray are sufficient as an exposure object.

[0068] The formation array of that 1/2 wave (it is made a phase and is  $\pi$ ) of depth of the two-dimensional glass phase mask 21 used here is circular or the rectangle-like hole 22 is carried out in the two-dimensional direction of the quartz-glass plate 23 by the photolithography, reactive ion etching, etc. The pitch of the hole 22 of this glass phase mask 21 is about 1 micrometer.

[0069] The primary [ - ] diffracted lights [ primary ] interfere and the pitch 0.5micrometer interference fringe which has the intensity distribution of the shape of a sine wave used as one half of the periods of the concavo-convex period of the front face of a phase mask is generated in a core layer 11 by this. Consequently, the pitch 0.5micrometer two-dimensional grid from which the refractive index of a lifting and a core increased the refractive-index change by the optical inductive effect by 10~4 order is formed into a core layer 11.

[0070] On the other hand, when the near-infrared ultrashort pulse laser beam near the oscillation wavelength of 810nm is irradiated, the increment in a bigger refractive index than that of 10~2 order can also be made to cause in a core. In this case, since the number of grids can be decreased for the above-mentioned reason, there is an advantage which can reduce crystal size figures double [ about ] as a result.

[0071] Moreover, there is a big advantage that almost all glass, such as not only GeO<sub>2</sub> addition quartz glass but fusion quartz glass, synthetic quartz glass, fluoride glass, cull scorch night glass, etc., can be used in this case.

[0072] The energy for producing refractive-index change by ultraviolet radiation exposure is about 0.5-1W by the average photoelectrical force. Since refractive-index change reflects the optical intensity distribution of the shape of a sine wave of an interference fringe, it does not become cylinder-like, but if core layer thickness is about several micrometers, most of this effect can be disregarded.

[0073] Moreover, even if it irradiates ultraviolet radiation 20 from the exterior after formation of glass optical waveguide 3a, since GeO<sub>2</sub> is not added by the up cladding layer 12, the refractive-index change by the optical inductive effect is not produced.

[0074] Moreover, when irradiating near-infrared light at the glass which does not add GeO<sub>2</sub>, the refractive-index change by the optical inductive effect also produces an up cladding layer, but since it is the core which light spreads, the effect does not exist.

[0075] On the other hand, unit-lattice size changes with the conventional technique from the difference in a refractive index. Since the refractive index of a medium without an air hole and the refractive index of an air hole differ from this invention, in the case of this invention, as compared with the former, the size of a grid becomes large.

[0076] That is, since the refractive-index difference is small as mentioned above in the case of this invention, a mode coupling coefficient needs to become small, and it is necessary to make [ many ] enlarging grid size, for obtaining a high reflection factor, and the number of grids. for example, the both sides of the field (photoconductive wave field 6) which is not a cylindrical field which light spreads -- a grid -- each 100 piece x 100 piece to 10000 piece x -- what is necessary is just to prepare 10000 pieces at a time. In that case, although the area which a grid occupies becomes large with 2 100x100mm from 2 about 1x1mm, when it considers that substrate size (diameter) is 1-6 inches (25.4mmphi-152.4mmphi), it is

completely satisfactory practically.

[0077] The photograph nick crystal waveguide which had a filter shape according to the very easy manufacture process compared with the conventional technique is realizable so that clearly from such a result.

[0078] According to this operation gestalt 1, the following effectiveness is done so.

[0079] (1) the construction material as the construction material which constitutes the core layer 11 of the slab optical waveguide 3 (glass optical waveguide 3a) with the same refractive-index change field 13 of the photograph nick crystal waveguide 1 -- and it consists of construction material to which refractive-index change processing by the optical inductive effect was performed. For this reason, since it is fixed and magnitude does not change by the upper and lower sides like [ in the case of the conventional air hole ], the magnitude of each part of the depth direction of the refractive-index change field 13 often comes to fulfill a Bragg condition, and a wavelength limit or wavelength transparency of propagation light can carry it out to high degree of accuracy. It can follow, for example, can be used as a highly efficient multiplexing / spectral separation component.

[0080] (2) In order to fulfill the Bragg condition which the refractive-index change field 13 serves as an equilateral-triangle lattice, and becomes enough, guarantee a wavelength limit or wavelength transparency of a highly precise propagation light.

[0081] (3) a high-degree-of-accuracy dimension since the refractive-index change field 13 arranged in the shape of an array irradiates selectively an electron ray, SOR light, ultraviolet rays, or the near infrared rays through the up cladding layer 12 of the slab optical waveguide 3 in manufacture of the photograph nick crystal waveguide 1 at a core layer 11, the refractive-index change by the optical inductive effect is produced and it produces -- and the refractive-index change field where the dimension of each part in the depth direction is uniform can be manufactured.

[0082] (4) The photograph nick crystal waveguide 1 the refractive-index change field 13 arranged in the shape of an array in the manufacture Irradiate selectively an electron ray, SOR light, ultraviolet rays, or the near infrared rays through the up cladding layer 12 of the slab optical waveguide 3 at a core layer 11, produce the refractive-index change by the optical inductive effect, and it produces. Since mechanical processing of etching like before etc. is not needed at all, production is very easy and reduction of a manufacturing cost can be attained.

[0083] (5) In case the photograph nick crystal by glass optical waveguide 3a is made, since a special processing technique is not required, large low-pricing, raise in reliance, and fertilization can be attained.

[0084] (Operation gestalt 2) Drawing 5 and drawing 6 are drawings concerning the photograph nick crystal waveguide which are other operation gestalten (operation gestalt 2) of this invention.

[0085] This operation gestalt 2 is the example of the photograph nick crystal waveguide 1 which uses organic optical waveguide 3b as slab optical waveguide 3.

[0086] That is, the point that this operation gestalt 2 differs from the operation gestalt 1 is a point which forms organic optical waveguide 3b, using polymeric materials, such as fluorination polyimide, as slab optical waveguide 3 which has the photograph nick crystal 14, and is having irradiated an electron ray, ultraviolet rays, or SOR light from the exterior further at organic optical waveguide 3b, having changed the refractive index of a core, and having formed the refractive-index change field 13 in the shape of a lattice.

[0087] Especially the double figures refractive-index change by SOR light exposure is 10~2 greatly compared with glass waveguide. Since other parts and actuation are the same as the case of said operation gestalt 1, and a basic target, they reduce a labor in explanation.

[0088] However, although the ends side of the photoconductive wave field 6 of the photograph nick crystal waveguide 1, i.e., the input and outgoing end side of the slab optical waveguide 3, does not carry out a graphic display, the nonreflective coat is given for acid resisting. As an example of the nonreflective coat film, using Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> as a target ingredient, by irradiating an ion beam at them, it is made to disperse towards an optical waveguide end face, and two-layer nonreflective coating is performed. The reflection factor obtained by this approach is [ about ]. -It is 30dB or less.

[0089] Moreover, slanting polish may be given to a close outgoing radiation end face as another means of acid resisting. The include angle of slanting polish is 8 times or more to a direction vertical to the propagation of light. A dicing saw may cut aslant instead of this slanting polish. A -50--60dB high reflection

factor is obtained in these cases.

[0090] The manufacture approach of the photograph nick crystal waveguide 1 of this operation gestalt 2 is explained.

[0091] With this operation gestalt 2, after forming the slab optical waveguide 3 which consists of organic optical waveguide 3b on a silicon substrate 2, SOR (synchrotron orbital radiation) light is irradiated selectively at this organic optical waveguide 3b, the refractive-index change field 13 is formed in the shape of a lattice, and the photograph nick crystal 14 is formed.

[0092] Although a graphic display is not carried out, on a silicon substrate 2, the spin coat of the solution of the fluorination polyamide acid which is the precursor of fluorination polyimide is carried out, it heats at 380 degrees C in oven, and the lower cladding layer 10 is formed (refer to drawing 6 ).

[0093] Next, the spin coat of the solution of a fluorination polyamide acid is carried out, it heats at 380 degrees C in oven, and a core layer 11 is formed in up to the lower cladding layer 10 (refer to drawing 6 ).

[0094] Next, the up cladding layer 12 which has the same refractive index as said lower cladding layer 10 on said core layer 11 is formed by said same approach, and organic optical waveguide (polymer optical waveguide) 3b is produced. At this time, the thickness of each class is almost the same as the case of glass optical waveguide 3a of said operation gestalt 1.

[0095] Consequently, organic optical waveguide 3b of 1.53 is obtained for a refractive index.

[0096] As for such a formation approach of the slab optical waveguide 3, compared with the elevated-temperature process of the crystal growth of a semi-conductor, temperature serves as a low-temperature process low. Production of the slab optical waveguide by the low-temperature process is easy, and can aim at reduction of a manufacturing cost.

[0097] Moreover, this approach has the outstanding description which is not in other ingredients that organic optical waveguide 3b can be easily formed with a spin coat.

[0098] Next, a thin film like the silicon nitride which penetrates an X-ray on organic optical waveguide 3b is arranged, and the SOR light of about 0.7nm of ultrahigh frequency length is irradiated from the exterior by dose 102 (ampere and second) order at organic optical waveguide 3b through the X-ray mask of structure which formed the X-ray absorber with a thickness of about 1 micrometer it is thin from heavy metal, such as a tantalum, a tungsten, or gold, on it.

[0099] Unlike the case of a glass phase mask, the SOR light which penetrated the X-ray mask as for which the hole was vacant in the shape of a grid turns into spot light in which each has cylinder-like intensity distribution, and is irradiated by the core layer 11. Consequently, the grid which the big refractive index of 10~2 order increased to the core layer 11 is formed.

[0100] Here, the bore diameter of an X-ray mask is 0.25 micrometers, and a pitch is 0.5 micrometers.

[0101] In this case, since wavelength is very small compared with an ultraviolet radiation exposure, micro processing becomes possible and there is the outstanding description that a grid can be easily written in a core with high degree of accuracy.

[0102] With this operation gestalt 2, the effectiveness which said operation gestalt 1 has is similarly done so.

[0103] (Operation gestalt 3) Drawing 7 is the top view of the photograph nick crystal waveguide which are other operation gestalten (operation gestalt 3) of this invention.

[0104] With this operation gestalt 3, as shown in drawing 7 , the unit lattice by the refractive-index change field 13 is arranged in the shape of a forward hexagon grid (hexagonal lattice).

[0105] Since a forward hexagon grid has the same band gap, i.e., Bragg reflection wavelength, to TE polarization and TM polarization, it is very effective.

[0106] In addition, in this invention, regular-polygon grids other than the above-mentioned equilateral-triangle grid or a forward hexagon grid are sufficient as a unit lattice. That is, lattices, such as a square grid, a regular octagon grid, and a regular dodecagon grid, are sufficient in a unit lattice. Moreover, since a grid (grid train) is constituted, the train of the refractive-index change field 13 is 2 train need at least.

[0107] (Operation gestalt 4) Drawing 8 is the typical top view showing the outline of the photograph nick crystal waveguide which are other operation gestalten (operation gestalt 4) of this invention.

[0108] It is the example which made plurality the grid train by the refractive-index change field 13 prepared along with the 1 side of the photoconductive wave field 6 of the photograph nick crystal waveguide 1 with

this operation gestalt, and is the example two or more grid trains G1 and G2 and the lattice spacing (pitch) a of G3 were made to differ mutually. It is the example which realized by this the so-called char ping property that a passband spreads.

[0109] Although especially definition is not carried out, when the pitch of the grid trains G1 and G2 and G3 is set to  $a_1$ ,  $a_2$ , and  $a_3$ , it is an example used as  $a_1 > a_2 > a_3$ .

[0110] A char ping means that a wavelength band spreads, when changing the pitch of a grid continuously at a certain rate. The char ping of a grid pitch is performed gradually finely. The case of the equilateral-triangle grid which has arranged the grid so that the pitch of a grid may become inequality spacing by the location is explained.

[0111] the grid pitch  $a_1$ , and  $a_2$  and  $a_3$  -- G1, G2, and G3 which become little by little small like ... each grid field of ... each grid field -- responding -- Bragg reflection wavelength  $\lambda_B$  --  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B-2}$ , and  $\lambda_{B3}$  ... like -- every [ each a few ] -- it becomes small. [ for example, ] In this case, grid mismatching arises in each grid field which adjoins each other since a pitch changes gradually microscopically. Since it is very small between adjacent grid fields, this value thinks that it is the same as changing continuously and is satisfactory if it sees macroscopically.

[0112] If it does in this way, since Bragg reflection wavelength will shift little by little, a band gap becomes large equivalent. That is, there is an advantage which can realize the so-called char ping property that a reflective band spreads. This effectiveness is applicable to compensation of the wavelength dispersion produced with an optical fiber etc. Although the example in which the pitch of a grid carries out monotonous reduction was shown here, also when a pitch carries out a monotonous increment, it cannot be overemphasized that the same effectiveness arises.

[0113] With this operation gestalt 4, the photograph nick crystal 14 is formed only in the 1 side of the photoconductive wave field 6. the array by said refractive-index change field 13 put in another way if it becomes, while the refractive-index change field 13 is arranged in the shape of a lattice along with the slab optical waveguide 3 end side -- receiving -- parallel -- or vertical or the photoconductive wave field 6 which light spreads is set up aslant.

[0114] therefore, while being able to make a grid train spread light (input light) to parallel, various the directions of ejection of light can be boiled and changed by choosing the direction of incidence of light.

[0115] That is, if light is made to advance at right angles to said grid train, outgoing radiation of the output light will be turned up and carried out in a grid train. Moreover, if light is made to advance aslant to a grid train, it will reflect in a grid train, and output light will have and carry out outgoing radiation of the predetermined include angle. Therefore, if an include angle is chosen, the propagation of light can also be bent at a right angle. Moreover, in the case of bending of such optical propagation, the bending loss also becomes small.

[0116] According to this operation gestalt 4, the degree of freedom of an optical waveguide design becomes high. Moreover, this configuration has the still higher degree of freedom of a design by applying to a silicon substrate etc. at the optical waveguide which branches and joins.

[0117] The grid train from which a pitch differs in mutual [ said / two or more ] may be prepared in the both sides of the photoconductive wave field 6, respectively. Moreover, you may prepare in some die-length regions of the photoconductive wave field 6.

[0118] (Operation gestalt 5) Drawing 9 is the perspective view which made the cross section a part of photograph nick crystal waveguide which are other operation gestalten (operation gestalt 5) of this invention.

[0119] The photograph nick crystal waveguide 1 of this operation gestalt 5 is constituted by only organic optical waveguide 3b.

[0120] That is, in the photograph nick crystal waveguide 1 of said operation gestalt 2, the photograph nick crystal waveguide 1 exfoliates from a silicon substrate 2 using an acid solution etc., and supports and uses organic optical waveguide 3b (slab optical waveguide 3) formed on the silicon substrate 2 by supporter material in an activity.

[0121] Since the stress-strain diagram which comes from the difference in a coefficient of thermal expansion with a substrate 2 is released, the polarization dependency of the refractive index by the birefringence stops thus, producing the slab optical waveguide 3, if it exfoliates from a substrate 2.

Therefore, in the condition of having attached in supporter material, it is necessary to attach the photograph nick crystal waveguide 1 of this operation gestalt 5 with the support gestalt which neither mechanical stress nor thermal stress generates.

[0122] According to the photograph nick crystal waveguide 1 of this operation gestalt 5, no polarization depending-ization can be attained.

[0123] Although invention made by this invention person above was concretely explained based on the operation gestalt, it cannot be overemphasized that it can change variously in the range which this invention is not limited to the above-mentioned operation gestalt, and does not deviate from the summary.

[0124] For example, while forming slab optical waveguide with a compound semiconductor on a compound semiconductor substrate, a refractive-index change field is applicable also to what carried out the lattice.

[0125] the case of the photograph nick crystal waveguide in which the slab optical waveguide 3 by GaAlAs was formed on the GaAs substrate -- a 0.7-0.9-micrometer short wavelength region -- it can be used -- an InP substrate top -- an InGaAsP compound semiconductor -- or in the case of the photograph nick crystal waveguide which used quartz glass and polymeric materials and formed the slab optical waveguide 3 on the silicon substrate, the quartz-glass substrate, etc., it can be used in a 1.3-1.5-micrometer long wavelength region.

[0126] Although the above explanation explained the case where invention mainly made by this invention person was applied to the manufacturing technology of the spectral separation component of the light which is a field of the invention used as the background, it is not limited to it and can apply to a multiplexing component manufacturing technology etc.

[0127] This invention is applicable to the component and MOJIRU which have optical waveguide at least.

[0128]

[Effect of the Invention] It will be as follows if the effectiveness acquired by the typical thing among invention indicated in this application is explained briefly.

[0129] (1) the construction material as the construction material which constitutes the core layer of slab optical waveguide with the same refractive-index change field of photograph nick crystal waveguide -- and it consists of construction material to which refractive-index change processing by the optical inductive effect was performed. For this reason, since the magnitude of each part of the depth direction of a refractive-index change field becomes fixed also including the dimension of the depth direction, it often comes to fulfill a Bragg condition and a wavelength limit or wavelength transparency of propagation light can carry it out to high degree of accuracy. It can follow, for example, can be used as a highly efficient multiplexing / spectral separation component.

[0130] (2) When a unit lattice is a forward hexagon grid, it becomes the same band gap to TE polarization and TM polarization, and a wavelength limit or wavelength transparency of propagation light can carry out to high degree of accuracy.

[0131] (3) a high-degree-of-accuracy dimension since the refractive-index change field arranged in the shape of an array irradiates an electron ray, SOR light, ultraviolet rays, or the near infrared rays through the up cladding layer of slab optical waveguide in manufacture of photograph nick crystal waveguide at a core layer, a core layer is made to produce selectively the refractive-index change by the optical inductive effect and it produces -- and the refractive-index change field where the dimension of each part in the depth direction is uniform can be manufactured. Moreover, since mechanical processing of etching etc. is not needed at all in order to produce a refractive-index change field, production is very easy and reduction of a manufacturing cost can be attained.

[0132] (4) In case the photograph nick crystal by glass optical waveguide is made, since a special processing technique is not required, large low-pricing, raise in reliance, and fertilization can be attained.

[0133] (5) When it constitutes slab optical waveguide from organic optical waveguide, since it becomes a low-temperature process, production of optical waveguide becomes easy, and organic optical waveguide can aim at reduction of a manufacturing cost.

[0134] (6) No polarization depending-ization can be attained in the photograph nick crystal waveguide of structure which removed organic slab optical waveguide from the substrate.

[0135] (7) Implementation of a char ping property can be aimed at by changing the grid pitch of two or more grid trains of a photograph nick crystal prepared in the 1 side of a photoconductive wave field, or both

sides, respectively.

[0136] (8) the photograph nick crystal waveguide of structure which established the grid train along with the end of slab optical waveguide -- a grid train -- receiving -- parallel -- or the propagation of light can be changed vertical or by making light advance aslant. Moreover, the effectiveness of being small has bending loss of light in this case.

---

[Translation done.]

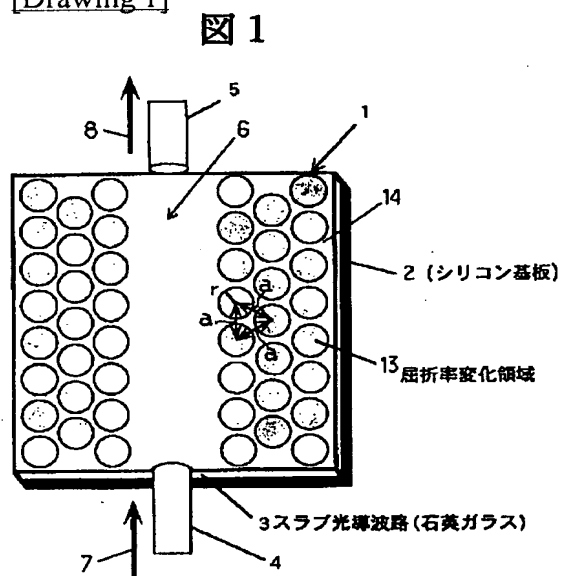
## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

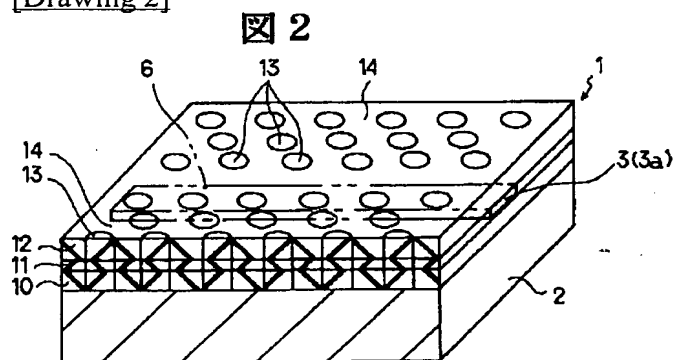
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

[Drawing 1]



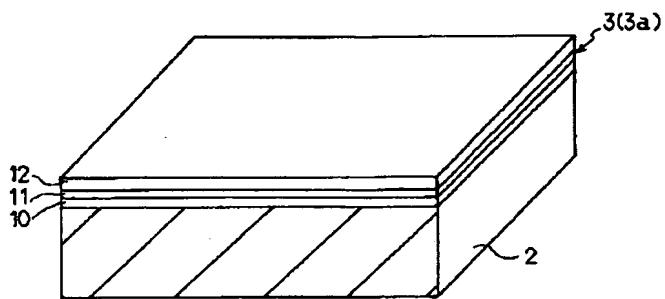
[Drawing 2]



[Drawing 3]

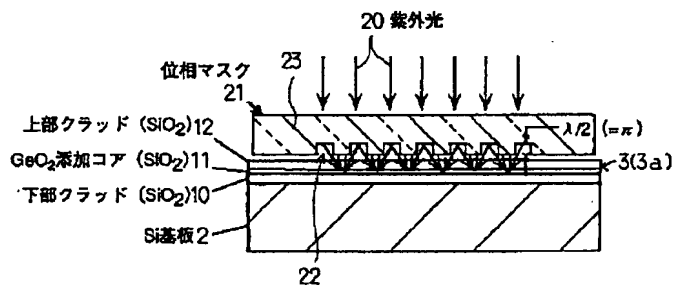


図 3



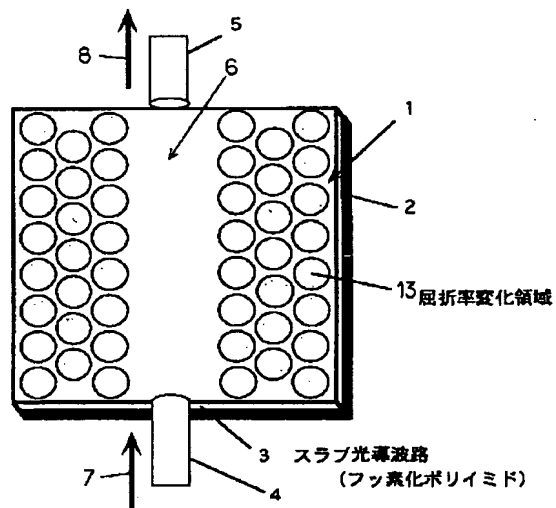
[Drawing 4]

図 4



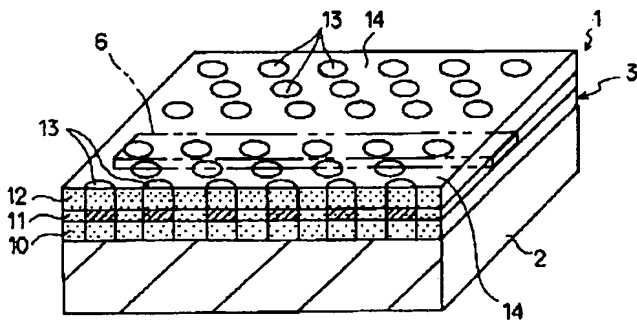
[Drawing 5]

図 5



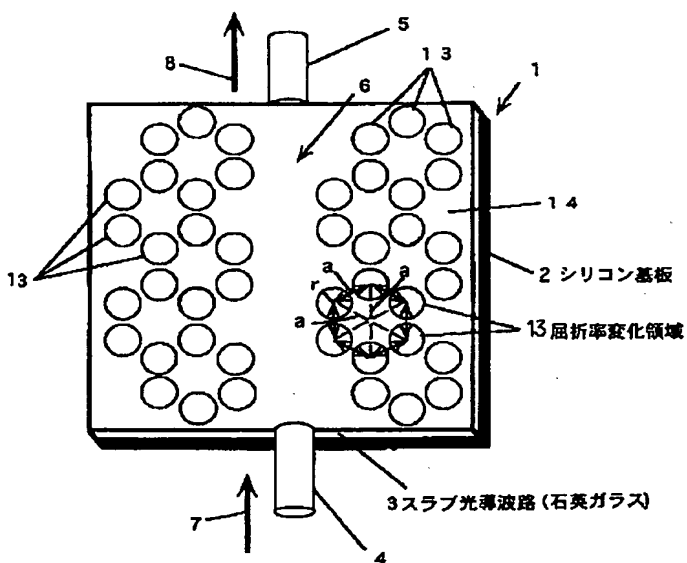
[Drawing 6]

図 6



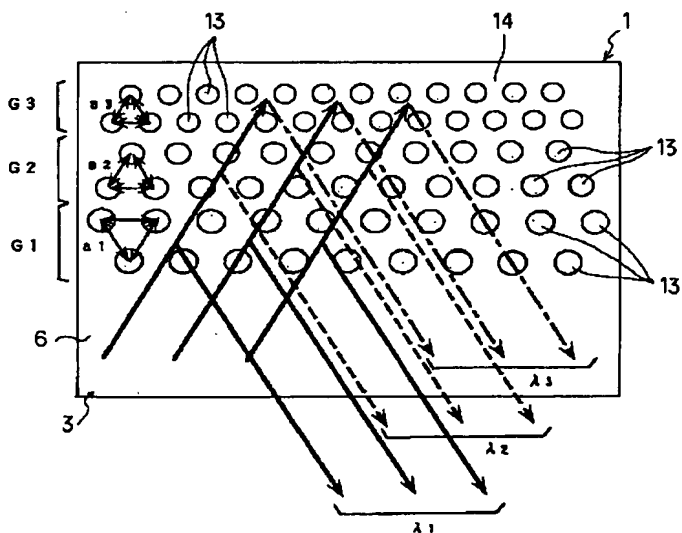
[Drawing 7]

图 7



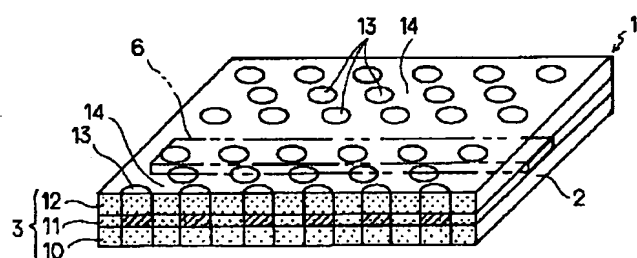
[Drawing 8]

图 8



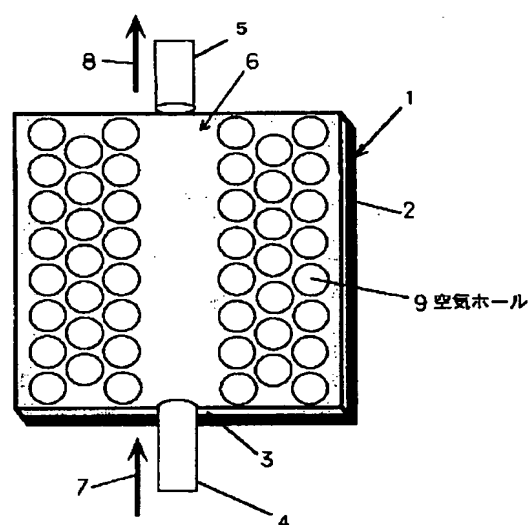
[Drawing 9]

図 9



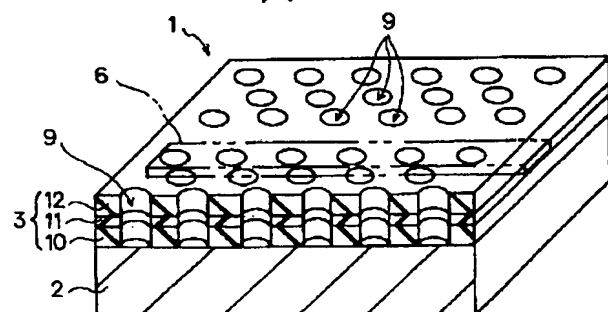
[Drawing 10]

図 10

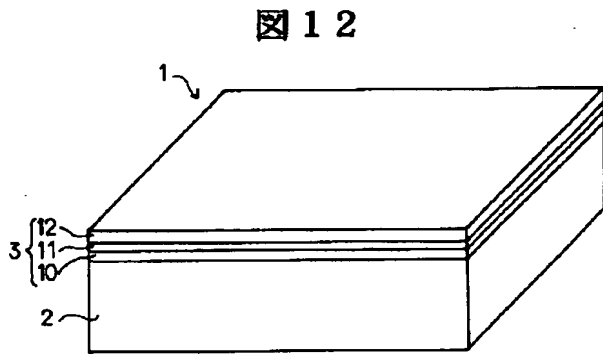


[Drawing 11]

図 11



[Drawing 12]



---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-218627

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月10日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

G02B 6/122

識別記号

F I

G02B 6/12

C

A

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全12頁)

(21) 出願番号 特願平10-21139

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月2日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 立川 吉明

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 小林 潤也

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 秋田 収喜

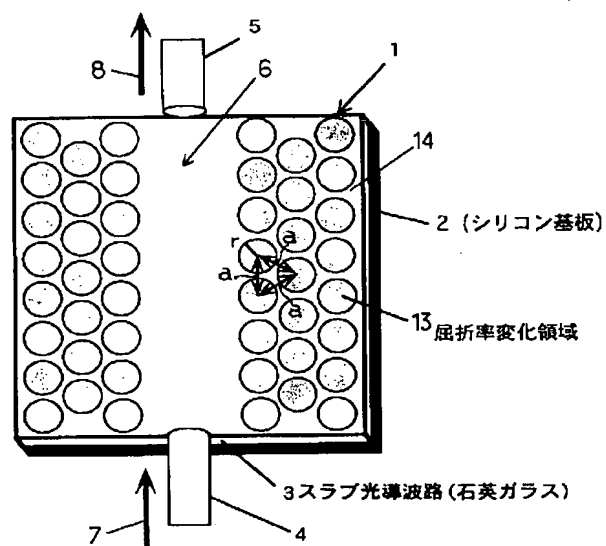
(54) 【発明の名称】 フォトニック結晶導波路およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 フォトニック結晶導波路の特性の安定化、製造コストを低減。

【解決手段】 基板の表面にスラブ光導波路を有するとともに前記スラブ光導波路の一部にスラブ光導波路のコア層の屈折率と異なる屈折率を有する屈折率変化領域が格子配列状に配置されたフォトニック結晶構造が設けられたフォトニック結晶導波路であって、前記屈折率変化領域は前記スラブ光導波路のコア層を構成する材質と同じ材質のもので構成されている。光が伝播する光導波領域の両側にそれぞれ屈折率変化領域が格子配列状に配置されている。前記屈折率変化領域のコア層の屈折率は屈折率変化領域から外れた領域のコア層の屈折率よりも大きく、その比屈折率差は $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 程度であることを特徴とする。単位格子は正三角形配列になっている。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板の表面に誘電体スラブ光導波路を有するとともに前記スラブ光導波路の一部にスラブ光導波路のコア層の屈折率と異なる屈折率を有する屈折率変化領域が格子配列状に配置されたフォトニック結晶構造が設けられたフォトニック結晶導波路であって、前記屈折率変化領域は前記スラブ光導波路のコア層を構成する材質と同じ材質でかつ光誘起効果による屈折率変化処理が施された材質で構成されていることを特徴とするフォトニック結晶導波路。

【請求項 2】 コア層を下部クラッド層と上部クラッド層で挟みかついずれの層も有機薄膜で形成されるスラブ光導波路であって、前記スラブ光導波路の一部にスラブ光導波路のコア層の屈折率と異なる屈折率を有する屈折率変化領域が格子配列状に配置されるとともに、前記屈折率変化領域のコア層は光誘起効果による屈折率変化処理によって形成されていることを特徴とするフォトニック結晶導波路。

【請求項 3】 光が伝播する光導波領域の両側にそれぞれ屈折率変化領域が格子配列状に配置されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載のフォトニック結晶導波路。

【請求項 4】 前記スラブ光導波路の一端側に沿って前記屈折率変化領域が格子配列状に配置されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載のフォトニック結晶導波路。

【請求項 5】 前記スラブ光導波路の一端側に設けられた格子配列状の屈折率変化領域に平行にまたは垂直もしくは斜めに光が伝播する光導波領域が設定されていることを特徴とする請求項 4 に記載のフォトニック結晶導波路。

【請求項 6】 前記屈折率変化領域による格子列は格子ピッチが異なる複数の格子列になっていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載のフォトニック結晶導波路。

【請求項 7】 前記格子列の単位格子は正多角形配列になっていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載のフォトニック結晶導波路。

【請求項 8】 前記屈折率変化領域のコア層の屈折率は屈折率変化領域から外れた領域のコア層の屈折率よりも大きく、その比屈折率差は  $10^{-4} \sim 10^{-2}$  程度であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載のフォトニック結晶導波路。

【請求項 9】 前記スラブ光導波路はガラス光導波路または有機光導波路で構成されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 3 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載のフォトニック結晶導波路。

【請求項 10】 前記請求項 1 乃至請求項 9 のフォトニック結晶導波路の製造方法であって、前記基板上に下部クラッド層、コア層、上部クラッド層からなるスラブ光

導波路を作製した後、電子線、S O R 光、紫外線および近赤外線の中のいずれかを前記上部クラッド層を通して前記コア層に選択的に照射して光誘起効果による屈折率変化を生じさせて前記屈折率変化領域を作製することを特徴とするフォトニック結晶導波路の製造方法。

【請求項 11】 前記請求項 10 の製造方法において、前記基板から下部クラッド層およびコア層ならびに上部クラッド層からなる有機光導波路を剥離させて前記請求項 2 に記載のフォトニック結晶導波路を製造することを特徴とするフォトニック結晶導波路の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はフォトニック結晶導波路およびその製造方法に関し、たとえば、光通信システムや光交換システムあるいは光計測システムの分野において、光波長を透過（伝播光の波長透過）あるいは阻止（伝播光の波長制限）する光フィルタ、光合波分波器、光分散補償デバイス等に適用して有効な技術に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光通信システム等に使用される光フィルタの一つとして、フォトニック結晶導波路が知られている。

【0003】フォトニック結晶導波路については、J. D. Joannopoulos 他著“ Photonic Crystals ” Princeton University Press, 1995. pp94-pp104 に記載されている。

【0004】図 10 および図 11 は従来のフォトニック結晶導波路を示す図である。フォトニック結晶導波路 1 は、基板 2 と、この基板 2 の表面に設けられたスラブ光導波路 3 とからなるとともに、前記スラブ光導波路 3 の光が伝播する光導波領域 6 の両側に格子配列状に複数の空気ホール 9 が設けられた構造になっている。この空気ホール 9 の前記スラブ光導波路 3 のコア層に対応する部分の屈折率は、空気故に異なり、屈折率変化領域 13 を構成することになる。

【0005】スラブ光導波路 3 は、下部クラッド層 10、コア層 11、上部クラッド層 12 からなり、前記空気ホール 9 は上層の上部クラッド層 12 から下層の下部クラッド層 10 にまで延在し、円柱空間を形成している。この空気ホール 9 内には空気が入り込み、屈折率がスラブ光導波路 3 のコア層 11 とは異なるようになっている。

【0006】また、空気ホール 9 の格子配列はブラッグ (Bragg) 条件を満たし、所定の波長の光のみを反射させ伝播させるフォトニック結晶を構成する。

【0007】フォトニック結晶導波路 1 の光導波領域 6 の一端側に入力光ファイバ 4 を接続し、他端側に出力光ファイバ 5 を接続した場合、入力光ファイバ 4 から光導波領域 6 に入れられた入力光 7 は、前記ブラッグ条件を満たす波長の光のみが出力光 8 となって出力光ファイバ

10

20

30

40

50

5から取り出される。

【0008】前記空気ホール9は、図12に示すように、基板2上にスラブ光導波路3を形成した後、たとえば、電子ビーム (EB : Electron Beam) リソグラフィと反応性イオンエッチング (RIE) によって形成される。空気ホール9の直径は0.1~0.24  $\mu\text{m}$ 、深さは0.6~0.8  $\mu\text{m}$ 、ピッチは0.18~0.36  $\mu\text{m}$ である。なお、空気ホール9の上端は解放されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来のフォトニック結晶導波路の製造においては、基板2の表面にスラブ光導波路3を作製する場合、以下の方法で作製している。

【0010】(1) 気相成長 (MO-CVD) 法あるいは液相成長 (LPE) 法などによって、スラブ光導波路3を構成する下部クラッド層10、コア層11、上部クラッド層12となる薄膜を順次作製する。

【0011】(2) 石英ガラスなどでスラブ光導波路3を作製する際は、基板2上に作製したガラスを電気炉で焼結して透明化して作製する。

【0012】これらの方法において、基板2の温度は、前記MO-CVD法やLPE法では500~700℃程度になり、前記電気炉による焼結では約1300℃となり高温になる。

【0013】このような高温プロセスは制御が難しい。

【0014】一方、空気ホール9の作製は反応性イオンエッチング (RIE) によって行うが、空気ホール9の直径がサブミクロンと小さいので円柱状にうまく加工するのが難しい。たとえば、空気ホール9直径が上部と底部で違ってしまい、所定のブラッグ条件を満たすように再現性良く空気ホール9を作製することは難しい。

【0015】さらに、薄膜作製加工、穴加工と加工工程が多くフォトニック結晶導波路の作製コストの低減が妨げられる。

【0016】以上のように、従来の製造方法によれば、プロセス制御が難しく、その結果再現性よく安定にフォトニック結晶導波路を実現することは容易でなかった。

【0017】本発明の目的は、伝播光の波長透過・波長制限特性が良好なフォトニック結晶導波路およびその製造方法を提供することにある。

【0018】本発明の他の目的は、伝播光の波長透過・波長制限特性が良好なフォトニック結晶導波路を再現性よくかつ安価に製造する方法を提供することにある。

【0019】本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかにする。

【0020】

【課題を解決するための手段】本願において開示される発明のうち代表的なものの概要を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

【0021】(1) 基板の表面にスラブ光導波路を有するとともに前記スラブ光導波路の一部にスラブ光導波路のコア層の屈折率と異なる屈折率を有する屈折率変化領域が格子配列 (アレイ) 状に配置されたフォトニック結晶構造が設けられたフォトニック結晶導波路であって、前記屈折率変化領域は前記スラブ光導波路のコア層を構成する材質と同じ材質でかつ光誘起効果による屈折率変化処理が施された材質で構成されている。光が伝播する光導波領域の両側にそれぞれ屈折率変化領域が格子配列状に配置されている。前記格子列の単位格子は正多角形配列、たとえば三角形配列になっている。前記屈折率変化領域のコア層の屈折率は屈折率変化領域から外れた領域のコア層の屈折率よりも大きく、その比屈折率差は $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 程度である。前記スラブ光導波路はガラス光導波路または有機光導波路で構成されている。

【0022】このようなフォトニック結晶導波路は、以下の方法で製造される。

【0023】基板上に下部クラッド層、コア層、上部クラッド層からなるスラブ光導波路を作製した後、電子線、SOR (synchrotron orbital radiation) 光、紫外線および近赤外線の中のいずれかを前記上部クラッド層を通して前記コア層に選択的に照射して光誘起効果による屈折率変化を生じさせて前記屈折率変化領域を作製する。

【0024】(2) 前記手段(1)の構成のフォトニック結晶導波路であり、このフォトニック結晶導波路はコア層を下部クラッド層と上部クラッド層で挟みかついずれの層も有機薄膜で形成されるスラブ光導波路構成である。

【0025】このようなフォトニック結晶導波路は、前記手段(1)の製造方法において、基板の表面に有機光導波路からなるスラブ光導波路を形成してフォトニック結晶導波路とした後、前記基板から有機光導波路を剥離させることによって製造する。

【0026】(3) 前記手段(1)または手段(2)の構成において、前記スラブ光導波路の一端側に沿って前記屈折率変化領域が格子配列状に配置されている。前記スラブ光導波路の一端側に設けられた格子配列状の屈折率変化領域に平行にまたは垂直もしくは斜めに光が伝播する光導波領域が設定されている。

【0027】(4) 前記手段(1)乃至手段(3)の構成において、前記屈折率変化領域による格子列は格子ピッチが異なる複数の格子列になっている。

【0028】前記(1)の手段によれば、(a) フォトニック結晶導波路の屈折率変化領域は、スラブ光導波路のコア層を構成する材質と同じ材質でかつ光誘起効果による屈折率変化処理が施された材質で構成されている。このため、屈折率変化領域の深さ方向の各部の大きさは一定し、従来の空気ホールの場合のように上下で大きさが変化しないため、ブラッグ条件をよく満たすようにな

10

20

30

40

50

り、伝播光の波長制限あるいは波長透過が高精度に行えるようになる。したがって、たとえば、高性能な合波・分波素子として使用することができる。

【0029】(b) 屈折率変化領域は正三角形格子配列となり、充分なるブラッグ条件を満たすため、高精度な伝播光の波長制限または波長透過を保証する。

【0030】(c) フォトニック結晶導波路の製造において、アレイ状に配置した屈折率変化領域は、電子線、SOR光、紫外線および近赤外線のうちいずれかを、スラブ光導波路の上部クラッド層を通してコア層に選択的に照射して光誘起効果による屈折率変化を生じさせて作製することから、高精度寸法でかつ深さ方向での各部の寸法が均一な屈折率変化領域を製造することができる。

【0031】(d) フォトニック結晶導波路はその製造において、アレイ状に配置した屈折率変化領域は、電子線、SOR光、紫外線および近赤外線のうちいずれかを、スラブ光導波路の上部クラッド層を通してコア層に選択的に照射して光誘起効果による屈折率変化を生じさせて作製し、従来のようなエッチング等の機械的加工を何ら必要としないため作製が極めて容易で製造コストの低減が達成できる。

【0032】(e) ガラス光導波路によるフォトニック結晶を作る際、特別な加工技術を要しないため大幅な低価格化、高信頼化、量産化を図ることができる。

【0033】(f) スラブ光導波路を有機光導波路で構成する場合、有機光導波路は低温プロセスになるため光導波路の作製が容易になり、製造コストの低減が図れる。

【0034】前記(2)の手段によれば、有機スラブ光導波路を基板から剥がした構造となることから、フォトニック結晶導波路の光導波するコア層の偏波無依存化が達成できる。

【0035】前記(3)の手段によれば、スラブ光導波路の一端側に沿って前記屈折率変化領域が格子配列状に配置されているとともに、前記屈折率変化領域による格子列(アレイ)に対して平行にまたは垂直もしくは斜めに光が伝播する光導波領域が設定されていることから、光導波路設計の自由度が高くなる。すなわち、前記格子列に垂直に光を導入させれば、出力光は格子列で折り返して出射される。また、格子列に対して斜めに光を導入させれば、出力光は格子列で反射して所定の角度を有して出射する。したがって、角度を選べば、光の伝播方向を直角に曲げることもできる。また、これらの光伝播方向の曲げの場合、その曲げ損失も小さくなる。

【0036】前記(4)の手段によれば、格子列を格子ピッチが異なる複数の格子列で形成しておくことによってチャープ特性の実現が可能になる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実

施形態を詳細に説明する。なお、実施形態を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0038】(実施形態1) 図1乃至図4は本発明の一実施形態(実施形態1)であるフォトニック結晶導波路およびその製造方法に係わる図である。

【0039】本実施形態1のフォトニック結晶導波路1は、図1および図2に示すように、シリコンからなる基板(シリコン基板)2上に、スラブ光導波路3としてガラス光導波路を形成した構造になっている。

【0040】スラブ光導波路3は、図2に示すように、シリコン基板2上に順次形成された下部クラッド層10、コア層11、上部クラッド層12によって構成されるが、これらの層はいずれもSiO<sub>2</sub>膜(石英ガラス、フッ化物ガラス等のガラス)で形成されている。

【0041】コア層11は屈折率を大きくするため、たとえばGeO<sub>2</sub>を添加してある。

【0042】また、屈折率差を大きくするため、上部クラッド層12の形成後に、水素(H<sub>2</sub>)加圧を行う。

【0043】スラブ光導波路3を構成する各層の厚さは、たとえば、以下の通りである。下部クラッド層10および上部クラッド層12の厚さは約15μm、コア層の厚さは数μmである。また、コアとクラッドの比屈折率差は0.3~1%程度である。

【0044】図2に示すように、中央線に沿う所定幅の領域が光導波領域6となり、この光導波領域6の両側に沿って格子配列(アレイ)状に屈折率変化領域13が設けられている。前記光導波領域6の幅は光ファイバとの接続を考えると数μm~数十μmが好ましい。

【0045】図では屈折率変化領域13はそれぞれ3列設けられ、隣り合う列との間で正三角形格子(triangle lattice)からなる単位格子を構成している。したがって、2列配列により単位格子は形成されるが、3列にしてあることから屈折率変化領域13間からの光の漏れが防げ、光の閉じ込め効果が高くなる。さらに格子パターンによっては、光の閉じ込め効果を高めるためにより多くの列による配列を必要とする場合がある。

【0046】前記正三角形格子のピッチは、たとえば0.5μm、屈折率変化領域13の直径は0.45μmである。

【0047】前記屈折率変化領域13のコア層の屈折率は、屈折率変化領域13から外れるコア層の屈折率よりも大きくなり、たとえば比屈折率差は10<sup>-4</sup>程度になる。

【0048】これら屈折率変化領域13をスラブ光導波路3上に格子配列した結晶は、フォトニック結晶(2次元フォトニック結晶)14と呼称されている。

【0049】フォトニック結晶14は、外部からの高出力のたとえばエキシマレーザ等で発生する紫外(UV)光あるいは近赤外光を、スラブ光導波路3の表面に選択



的に照射して光誘起効果による屈折率変化をスラブ光導波路 3 のコア層内に生じさせることによって形成される。

【 0 0 5 0 】このとき、半径  $r$  の円柱状に屈折率が変化した微小な屈折率変化領域 1 3 を規則正しく整列させて、たとえば正三角形格子を構成させる。

【 0 0 5 1 】結晶は原子あるいは分子の周期的な配列であり、結晶格子は原子あるいは分子の小さな基本的な構造が空間的に繰り返されているときに生じる。したがって、結晶は周期的なポテンシャルをその中を伝搬する電子に与え、結晶構造は導電性を支配する。特に、格子は結晶のエネルギーバンド構造にギャップを導入することができるので、原子からのブラッグライク回折により一定のエネルギーをもった電子は一定の方向に伝播することを禁止される。

【 0 0 5 2 】その光学的なアナロジーがフォトニック結晶であり、その周期的なポテンシャルは原子の代わりに巨視的な光半導体媒質あるいは誘電体媒質の格子により与えられる。したがって、フォトニック結晶においては、格子構造および格子定数で決定されるバンドギャップすなわちブラッグ回折による反射波長域が存在することになる。

【 0 0 5 3 】また、屈折率の大きさは石英ガラスで 1. 4 6、後述するフッ素化ポリイミドで 1. 5 3 である。屈折率変化は大きいほどよいが、これらの材料で実現できる現実的な屈折率増加量は  $10^{-4}$  から  $10^{-2}$  の範囲である。

【 0 0 5 4 】フォトニック結晶では、一般に円柱状領域とそうでない領域との屈折率差が大きいことが望ましいが、従来技術では屈折率差が約 0. 7 と 1 桁以上大きい分だけ同じ反射率を得るのに格子数を少なくできて有利である。

【 0 0 5 5 】しかし、その反面、格子のピッチ、内径が小さくなり加工が難しくなるという欠点がある。

【 0 0 5 6 】一方、本発明のように屈折率差が 0. 0 1 と小さい場合は加工が容易となり、格子数を増やせば原理的に同様の効果が期待できる。

【 0 0 5 7 】この様子をもう少し詳しく数学的に説明する。簡単のため、格子が直線導波路に沿って等間隔に並んだ 1 次元のブラッグ光導波路格子を例にとると、ブラッグ波長  $\lambda_B$  における光電力反射率は  $R = \tan^2(\kappa L)$  で表され、モード結合係数  $\kappa$  と格子の長さ  $L$  との積によって決まる。

【 0 0 5 8 】このように、屈折率変化によって格子を形成する場合、一般に結合係数が小さいので、高反射率を得るには格子部の長さ  $L$  を大きくして格子をたくさん配置することが必要となることがわかる。

【 0 0 5 9 】他方、前記フォトニック結晶導波路 1 の光導波領域 6 の一端側には入力光ファイバ 4 が接続され、他端側には出力光ファイバ 5 が接続されている。前記入

力光ファイバ 4 および出力光ファイバ 5 は、単一モードファイバまたは分散シフトファイバもしくは偏波保持ファイバ等で構成されている。たとえば、この実施形態では単一モードファイバが使用されている。

【 0 0 6 0 】図 1 はフォトニック結晶導波路 1 の使用形態を模式的に示すものであるが、実際の製品としては、容器（パッケージ）内にフォトニック結晶導波路 1 が配置され、容器に設けられた光ファイバガイド等によってそれぞれ入力光ファイバ 4 や出力光ファイバ 5 が光ケーブルの状態等で支持される構成になる。また、フォトニック結晶導波路 1 は、O E I C を構成するシリコン基板やガラス基板さらには化合物半導体基板の一部に形成される場合もある。

【 0 0 6 1 】このようなフォトニック結晶導波路 1 では、入力光ファイバ 4 からの光（入力光 7）が、結晶格子が存在しない光導波領域 6 の一端側に入力されると、前記入力光 7 はスラブ空間に広がって行くとき、屈折率変化領域 1 3 が存在するフォトニック結晶で反射あるいは透過される。その際に、いわゆるブラッグ条件を満たす波長の光のみが結晶で反射され、それ以外の波長の光は結晶を透過する。このとき、反射光は光学的な多光束干渉を生じる。その結果、ブラッグ条件を満たす波長の光はスラブ光導波路 3 の格子が無い部分に閉じ込められて光導波領域 6 を伝搬していくことが許される。

【 0 0 6 2 】この多光束干渉は通過波長を制限する効果がある。この伝播光波は、格子のピッチ  $a$  が波長の整数倍のとき強めあい、 $(1 + 1/2)$  波長の整数倍のとき弱めあう。このような構成になっているため、従来技術に比べて容易に波長特性を有する光フィルタを実現することが可能である。

【 0 0 6 3 】つぎに、このようなフォトニック結晶導波路 1 の製造方法について説明する。図 3 に示すように、シリコン基板 2 上に、火炎加水分解法やイオン交換法により石英 ( $\text{SiO}_2$ ) ガラスで下部クラッド層 1 0、コア層 1 1、上部クラッド層 1 2 を形成して 2 次元方向に光の閉じ込めのない、いわゆるスラブ構造のガラス光導波路 3 a（スラブ光導波路 3）を作製する。なお、基板 2 は石英ガラス基板や他のガラス基板でもよい。

【 0 0 6 4 】前記コア層 1 1 には屈折率を増大させるためにゲルマニウム ( $\text{GeO}_2$ ) やリン (P) 等の不純物をコア形成過程において予め添加しておく。本実施形態 1 では、たとえば  $\text{GeO}_2$  を添加する。また、ガラス光導波路 3 a を形成した後に水素 ( $\text{H}_2$ ) 加圧処理を施してもよい。

【 0 0 6 5 】前記下部クラッド層 1 0 の厚さは約  $15 \mu\text{m}$ 、コア層 1 1 の厚さは数  $\mu\text{m}$ 、上部クラッド層 1 2 の厚さは約  $15 \mu\text{m}$  である。また、コアとクラッドの屈折率差は 0. 3 ~ 1 % 程度である。

【 0 0 6 6 】つぎに、発振波長  $248 \text{ nm}$  の Kr - F エキシマレーザ、 $193 \text{ nm}$  の Ar - F レーザ、あるいは

YAGレーザ（第2あるいは第4高調波利用）などで発生する紫外パルス光（紫外光）20を、図4に示すように、ガラス製位相マスク21を介してスラブ光導波路3表面の上方から屈折率変化領域13を形成する部分に照射する。

【0067】照射物は、電子線，SOR光，紫外線，近赤外線の内いずれでもよい。

【0068】ここで使用する2次元ガラス製位相マスク21は、1/2波長（位相にして $\pi$ ）の深さの円形もしくは方形の穴22が、たとえばフォトリソグラフィと反応性イオンエッチング等で石英ガラス板23の2次元方向に形成配列されたものである。このガラス製位相マスク21の穴22のピッチは約1 $\mu$ mである。

【0069】これによって、-1次と1次の回折光同士が干渉し、位相マスクの表面の凹凸周期の1/2の周期となる正弦波状の強度分布を有するピッチ0.5 $\mu$ mの干渉縞がコア層11中に生成される。その結果、光誘起効果による屈折率変化を起こし、コアの屈折率が10<sup>-4</sup>オーダで増加したピッチ0.5 $\mu$ mの2次元格子がコア層11中に形成される。

【0070】一方、発振波長810nm付近の近赤外超短パルスレーザ光を照射した場合には、10<sup>-3</sup>オーダのより大きな屈折率の増加をコア中に起こさせることもできる。この場合には、前述の理由によって格子数を減少できるため、結果として結晶サイズをおよそ2桁低減できる利点がある。

【0071】また、この場合はGeO<sub>2</sub>添加石英ガラスに限らず熔融石英ガラス、合成石英ガラス、フッ化物ガラス、カルコゲナイトガラスなどほとんど全てのガラスを使用できるという大きな利点がある。

【0072】紫外光照射により屈折率変化を生じさせるためのエネルギーは、平均光電力で0.5~1W程度である。屈折率変化は干渉縞の正弦波状の光強度分布を反映するので円柱状にはならないが、コア層厚が数 $\mu$ m程度であればこの影響はほとんど無視できる。

【0073】また、ガラス光導波路3aの形成後に外部から紫外光20を照射しても、上部クラッド層12にはGeO<sub>2</sub>が添加されていないので光誘起効果による屈折率変化は生じない。

【0074】また、GeO<sub>2</sub>を添加しないガラスに近赤外光を照射する場合は、上部クラッド層も光誘起効果による屈折率変化が生じるが、光が伝播するのはコアなのでその影響はない。

【0075】他方、単位格子サイズは屈折率の違いから従来技術と変わる。空気ホールのない媒質の屈折率および空気ホールの屈折率が本発明と異なっていることから、本発明の場合には従来に比較して格子のサイズが大きくなる。

【0076】すなわち、前述のように本発明の場合には屈折率差が小さいためにモード結合係数が小さくなり、

高反射率を得るには格子サイズを大きくすることと格子数を多くする必要がある。たとえば、光が伝播する円柱状領域でない領域（光導波領域6）の両側に格子を各々100個×100個から10000個×10000個ずつ設ければよい。その場合、格子が占有する面積がおおよそ1×1mm<sup>2</sup>から100×100mm<sup>2</sup>と大きくなるが基板サイズ（直径）が1~6インチ（25.4mm $\phi$ ~152.4mm $\phi$ ）であることを考えると実用上は全く問題がない。

10 【0077】このような結果から明らかなように、従来技術に比べて極めて簡単な製造プロセスによりフィルタ特性を持ったフォトニック結晶導波路を実現することができる。

【0078】本実施形態1によれば以下の効果を奏する。

【0079】（1）フォトニック結晶導波路1の屈折率変化領域13は、スラブ光導波路3（ガラス光導波路3a）のコア層11を構成する材質と同じ材質でかつ光誘起効果による屈折率変化処理が施された材質で構成されている。このため、屈折率変化領域13の深さ方向の各部の大きさは一定し、従来の空気ホールの場合のように上下で大きさが変化しないため、ブラッグ条件をよく満たすようになり、伝播光の波長制限あるいは波長透過が高精度に行えるようになる。したがって、たとえば、高性能な合波・分波素子として使用することができる。

【0080】（2）屈折率変化領域13は正三角形格子配列となり、充分なるブラッグ条件を満たすため、高精度な伝播光の波長制限または波長透過を保証する。

30 【0081】（3）フォトニック結晶導波路1の製造において、アレイ状に配置した屈折率変化領域13は、電子線，SOR光，紫外線および近赤外線の内いずれかを、スラブ光導波路3の上部クラッド層12を通してコア層11に選択的に照射して光誘起効果による屈折率変化を生じさせて作製することから、高精度寸法でかつ深さ方向での各部の寸法が均一な屈折率変化領域を製造することができる。

【0082】（4）フォトニック結晶導波路1はその製造において、アレイ状に配置した屈折率変化領域13は、電子線，SOR光，紫外線および近赤外線の内いずれかを、スラブ光導波路3の上部クラッド層12を通してコア層11に選択的に照射して光誘起効果による屈折率変化を生じさせて作製し、従来のようなエッチング等の機械的加工を何ら必要としないため作製が極めて容易で製造コストの低減が達成できる。

【0083】（5）ガラス光導波路3aによるフォトニック結晶を作る際、特別な加工技術を要しないため大幅な低価格化、高信頼化、量産化を図ることができる。

【0084】（実施形態2）図5および図6は本発明の他の実施形態（実施形態2）であるフォトニック結晶導波路に係わる図である。

【0085】本実施形態2はスラブ光導波路3として有機光導波路3bを使用するフォトニック結晶導波路1の例である。

【0086】すなわち、本実施形態2が実施形態1と異なる点は、フォトニック結晶14を有するスラブ光導波路3として、フッ素化ポリイミド等の高分子材料を用いて有機光導波路3bを形成している点で、さらに電子線、紫外線あるいはSOR光を外部から有機光導波路3bに照射してコアの屈折率を変化させて屈折率変化領域13を格子配列状に形成したことである。

【0087】特に、SOR光照射による屈折率変化はガラス導波路に比べて2桁大きく $10^{-2}$ である。他の部分および動作は、前記実施形態1の場合と基本的には同じなので説明を省力する。

【0088】ただし、フォトニック結晶導波路1の光導波領域6の両端面、すなわちスラブ光導波路3の入力・出力端面は、図示はしないが反射防止のために無反射コートが施してある。無反射コート膜の一例としては、ターゲット材料として $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ を用い、それらにイオンビームを照射することによって光導波路端面に向けて飛散させて2層の無反射コーティングを施す。この方法で得られる反射率は約-30dB以下である。

【0089】また、反射防止の別の手段として、入射端面に斜め研磨を施してもよい。斜め研磨の角度は光の伝播方向に垂直な方向に対して8度以上である。この斜め研磨の代わりにダイシングソーで斜めに切断しても良い。これらの場合、-50~-60dBの高反射率が得られる。

【0090】本実施形態2のフォトニック結晶導波路1の製造方法について説明する。

【0091】本実施形態2では、シリコン基板2上に有機光導波路3bからなるスラブ光導波路3を形成した後、この有機光導波路3bに選択的にSOR (synchrotron orbital radiation) 光を照射して屈折率変化領域13を格子配列状に形成してフォトニック結晶14を形成する。

【0092】図示はしないが、シリコン基板2上に、フッ素化ポリイミドの前駆体であるフッ素化ポリアミド酸の溶液をスピコートしてオープン中で380℃で加熱し下部クラッド層10を形成する(図6参照)。

【0093】つぎに、下部クラッド層10上へ、フッ素化ポリアミド酸の溶液をスピコートしオープン中で380℃で加熱しコア層11を形成する(図6参照)。

【0094】つぎに、前記コア層11上に、前記下部クラッド層10と同じ屈折率を持つ上部クラッド層12を前記同様な方法で形成して有機光導波路(ポリマー光導波路)3bを作製する。このとき、各層の膜厚は前記実施形態1のガラス光導波路3aの場合とほぼ同じである。

【0095】この結果、屈折率が1.53の有機光導波

路3bが得られる。

【0096】このようなスラブ光導波路3の形成方法は、半導体の結晶成長の高温プロセスと比べて温度が低く低温プロセスとなる。低温プロセスによるスラブ光導波路の作製は容易であり、製造コストの低減が図れる。

【0097】また、この方法はスピコートにより有機光導波路3bを容易に形成できるという他の材料にない優れた特徴がある。

【0098】つぎに、有機光導波路3b上にX線を透過する窒化シリコンのような薄膜を配置し、その上にタンタル、タングステンあるいは金等の重金属からなる厚さ約1 $\mu\text{m}$ のX線吸収体を設けた構造のX線マスクを介して極超短波長約0.7nmのSOR光を、照射量 $10^2$ (アンペア・秒)オーダで外部から有機光導波路3bに照射する。

【0099】ガラス製位相マスクの場合とは異なり、格子状に穴の空いたX線マスクを透過したSOR光は1つ1つが円柱状の強度分布をもつスポット光となってコア層11に照射される。その結果、コア層11に $10^{-2}$ オーダの大きな屈折率の増加した格子が形成される。

【0100】ここで、X線マスクの穴径は0.25 $\mu\text{m}$ 、ピッチは0.5 $\mu\text{m}$ である。

【0101】この場合紫外光照射に比べて波長が極めて小さいので、微細加工が可能となり高精度をもって容易に格子をコアに書き込むことができるという優れた特徴がある。

【0102】本実施形態2では前記実施形態1が有する効果を同様に奏する。

【0103】(実施形態3)図7は本発明の他の実施形態(実施形態3)であるフォトニック結晶導波路の平面図である。

【0104】本実施形態3では、図7に示すように、屈折率変化領域13による単位格子を正六角形格子(hexagonal lattice)状に配列してある。

【0105】正六角形格子はTE偏光およびTM偏光に対して同じバンドギャップすなわちブラッグ反射波長を有するので極めて有効である。

【0106】なお、本発明では、単位格子として前述の正三角形格子や正六角形格子以外の正多角形格子でもよい。すなわち、単位格子を正方形格子、正八角形格子、正十二角形格子などの格子配列でもよい。また、屈折率変化領域13の列は、格子(格子列)を構成するために少なくとも2列必要である。

【0107】(実施形態4)図8は本発明の他の実施形態(実施形態4)であるフォトニック結晶導波路の概略を示す模式的平面図である。

【0108】本実施形態では、フォトニック結晶導波路1の光導波領域6の一側に沿って設けられる屈折率変化領域13による格子列を複数にした例であり、かつ複数の格子列G1、G2、G3の格子間隔(ピッチ)aを相

互に異なるようにした例である。これにより、通過帯域が広がるいわゆるチャープニング特性を実現した例である。

【0109】特に限定はされないが、格子列  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  のピッチを  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  とした場合、 $a_1 > a_2 > a_3$  となっている例である。

【0110】チャープニングとは格子のピッチをある割合で連続的に変化させたときに波長帯域が広がることを言う。格子ピッチのチャープニングは細かく段階的に行う。格子のピッチが場所によって不等間隔になるように格子 10 を配置した正三角形格子の場合について説明する。

【0111】たとえば、格子ピッチ  $a$  が  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $\dots$  のように少しずつ小さくなる  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ ,  $\dots$  の各格子領域では、各格子領域に応じてブラッグ反射波長  $\lambda_B$  が  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B2}$ ,  $\lambda_{B3}$ ,  $\dots$  のように各々少しずつ小さくなる。この場合、微視的にはピッチが段階的に変化するので隣り合う各格子領域で格子不整合が生じる。この値は隣り合う格子領域の間では極めてわずかなので、巨視的に見れば連続的に変化しているのと同じであると考えて問題ない。

【0112】このようにすると、ブラッグ反射波長が少しずつずれるので等価的にバンドギャップが広がる。すなわち、反射帯域が広がるいわゆるチャープニング特性を実現できる利点がある。この効果は光ファイバで生じる波長分散の補償などに適用することができる。ここでは、格子のピッチが単調減少する例を示したが、ピッチが単調増加する場合にも同様の効果が生ずることは言うまでもない。

【0113】本実施形態 4 では光導波領域 6 の一側にのみフォトニック結晶 14 を設けてある。換言するならば、スラブ光導波路 3 一端側に沿って屈折率変化領域 13 が格子配列状に配置されているとともに、前記屈折率変化領域 13 によるアレイに対して平行にまたは垂直もしくは斜めに光が伝播する光導波領域 6 が設定されている。

【0114】したがって、光（入力光）を格子列に平行に伝播させることができるとともに、光の入射方向を選択することによって光の取り出し方向を種々に変えることができる。

【0115】すなわち、前記格子列に垂直に光を進入させれば、出力光は格子列で折り返して出射される。また、格子列に対して斜めに光を進入させれば、出力光は格子列で反射して所定の角度を有して出射する。したがって、角度を選べば、光の伝播方向を直角に曲げることができる。また、これらの光伝播方向の曲げの場合、その曲げ損失も小さくなる。

【0116】本実施形態 4 によれば光導波路設計の自由度が高くなる。また、この構成はシリコン基板等に分岐や合流する光導波路に適用することにより、一層設計の自由度が高い。

【0117】前記複数の相互にピッチの異なる格子列は、光導波領域 6 の両側にそれぞれ設けてもよい。また光導波領域 6 の一部の長さ域に設けてもよい。

【0118】（実施形態 5）図 9 は本発明の他の実施形態（実施形態 5）であるフォトニック結晶導波路の一部を断面とした斜視図である。

【0119】本実施形態 5 のフォトニック結晶導波路 1 は、有機光導波路 3 b のみによって構成されたものである。

【0120】すなわち、フォトニック結晶導波路 1 は、前記実施形態 2 のフォトニック結晶導波路 1 において、シリコン基板 2 の上に形成した有機光導波路 3 b（スラブ光導波路 3）を、酸溶液などを用いてシリコン基板 2 から剥離したものであり、使用においては支持部材で支えて使用するものである。

【0121】このようにスラブ光導波路 3 を基板 2 から剥離すると、基板 2 との熱膨張係数の違いからくる応力歪みが解放されるため複屈折による屈折率の偏波依存性が生じなくなる。したがって、本実施形態 5 のフォトニック結晶導波路 1 は支持部材に取り付けた状態において、機械的応力や熱応力が発生しない支持形態で取り付ける必要がある。

【0122】本実施形態 5 のフォトニック結晶導波路 1 によれば、偏波無依存化が達成できる。

【0123】以上本発明者によってなされた発明を実施形態に基づき具体的に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【0124】たとえば、化合物半導体基板上に化合物半導体によってスラブ光導波路を形成するとともに、屈折率変化領域を格子配列したものに対しても適用できる。

【0125】たとえば、GaAs 基板上に GaAlAs によるスラブ光導波路 3 を形成したフォトニック結晶導波路の場合には、 $0.7 \sim 0.9 \mu\text{m}$  の短波長帯で使用でき、InP 基板上に InGaAsP 化合物半導体やあるいは、シリコン基板や石英ガラス基板等の上に石英ガラスや高分子材料を用いてスラブ光導波路 3 を形成したフォトニック結晶導波路の場合は、 $1.3 \sim 1.5 \mu\text{m}$  の長波長帯で使用することができる。

【0126】以上の説明では主として本発明者によってなされた発明をその背景となった利用分野である光の分波素子の製造技術に適用した場合について説明したが、それに限定されるものではなく、たとえば、合波素子製造技術などに適用できる。

【0127】本発明は少なくとも光導波路を有する素子、モジュール等には適用できる。

【0128】

【発明の効果】本願において開示される発明のうち代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

【0129】(1) フォトニック結晶導波路の屈折率変化領域は、スラブ光導波路のコア層を構成する材質と同じ材質でかつ光誘起効果による屈折率変化処理が施された材質で構成されている。このため、屈折率変化領域の深さ方向の各部の大きさは深さ方向の寸法をも含めて一定になることから、ブラッグ条件をよく満たすようになり、伝播光の波長制限あるいは波長透過が高精度に行えるようになる。したがって、たとえば、高性能な合波・分波素子として使用することができる。

【0130】(2) 単位格子が正六角形格子の場合、TE偏光およびTM偏光に対して同じバンドギャップとなり、伝播光の波長制限あるいは波長透過が高精度に行えるようになる。

【0131】(3) フォトニック結晶導波路の製造において、アレイ状に配置した屈折率変化領域は、電子線、SOR光、紫外線および近赤外線のうちいずれかを、スラブ光導波路の上部クラッド層を通してコア層に照射して光誘起効果による屈折率変化をコア層に選択的に生じさせて作製することから、高精度寸法でかつ深さ方向での各部の寸法が均一な屈折率変化領域を製造することができる。また、屈折率変化領域を作製するためにエッチング等の機械的加工を何ら必要としないため作製が極めて容易で製造コストの低減が達成できる。

【0132】(4) ガラス光導波路によるフォトニック結晶を作る際、特別な加工技術を要しないため大幅な低価格化、高信頼化、量産化を図ることができる。

【0133】(5) スラブ光導波路を有機光導波路で構成する場合、有機光導波路は低温プロセスになるため光導波路の作製が容易になり、製造コストの低減が図れる。

【0134】(6) 有機スラブ光導波路を基板から剥がした構造のフォトニック結晶導波路では、偏波無依存化が達成できる。

【0135】(7) 光導波領域の一侧または両側に設けられるフォトニック結晶の複数の格子列の格子ピッチをそれぞれ変えることによってチャープ特性の実現が図れる。

【0136】(8) スラブ光導波路の一端に沿って格子列を設けた構造のフォトニック結晶導波路では、格子列に対して平行にまたは垂直もしくは斜めに光を導入させることによって、光の伝播方向を変化させることができ

る。またこの場合、光の曲げ損失も小さいという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態（実施形態1）であるフォトニック結晶導波路の概略を示す構成図である。

【図2】本実施形態1のフォトニック結晶導波路を示す一部を断面とした斜視図である。

【図3】本実施形態1のフォトニック結晶導波路の作製において、半導体基板にスラブ光導波路を形成した状態を示す一部を断面とした斜視図である。

【図4】本実施形態1のフォトニック結晶導波路の作製において、半導体基板の表面に形成したスラブ光導波路に、コアの屈折率と異なる屈折率変化領域を格子状に配列形成する方法を示す模式的断面図である。

【図5】本発明の他の実施形態（実施形態2）であるフォトニック結晶導波路の概略を示す構成図である。

【図6】本実施形態2のフォトニック結晶導波路を示す一部を断面とした斜視図である。

【図7】本発明の他の実施形態（実施形態3）であるフォトニック結晶導波路の概略を示す構成図である。

【図8】本発明の他の実施形態（実施形態4）であるフォトニック結晶導波路の概略を示す一部の構成図である。

【図9】本発明の他の実施形態（実施形態5）であるフォトニック結晶導波路の概略を示す一部を断面とした斜視図である。

【図10】従来のフォトニック結晶導波路の概略を示す構成図である。

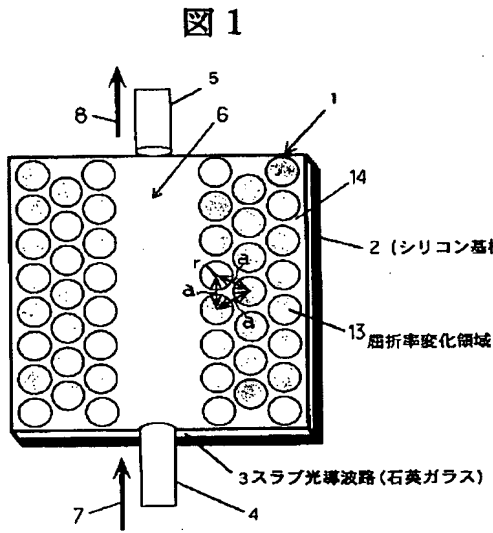
【図11】従来のフォトニック結晶導波路を示す一部を断面とした斜視図である。

【図12】従来のフォトニック結晶導波路の作製に使用する半導体基板を示す斜視図である。

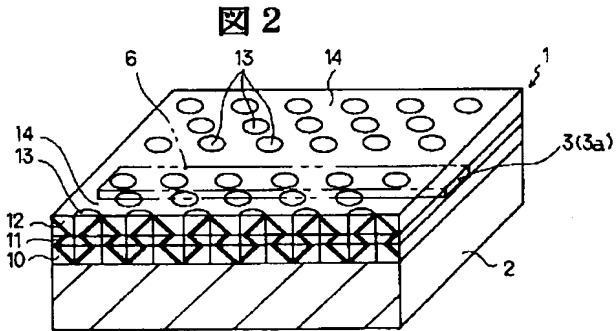
【符号の説明】

1…フォトニック結晶導波路、2…基板、3…スラブ光導波路、3a…ガラス光導波路、3b…有機光導波路、4…入力光ファイバ、5…出力光ファイバ、6…光導波領域、7…入力光、8…出力光、9…空気ホール、10…下部クラッド層、11…コア層、12…上部クラッド層、13…屈折率変化領域、14…フォトニック結晶、20…紫外光（紫外パルス光）、21…ガラス製位相マスク、22…穴、23…石英ガラス板。

【図 1】

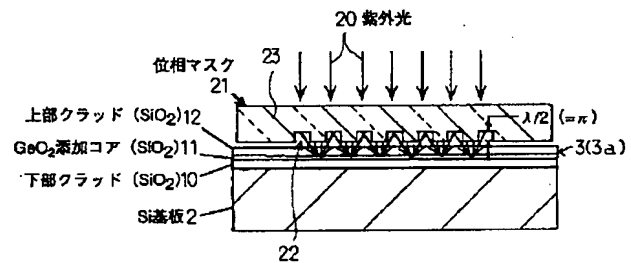


【図 2】



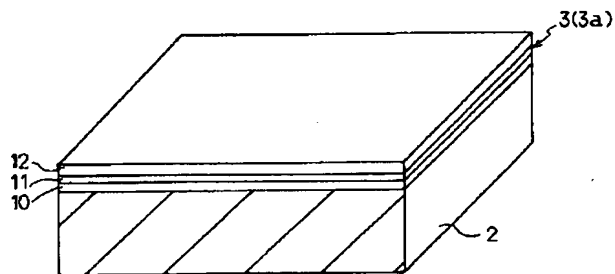
【図 4】

図 4



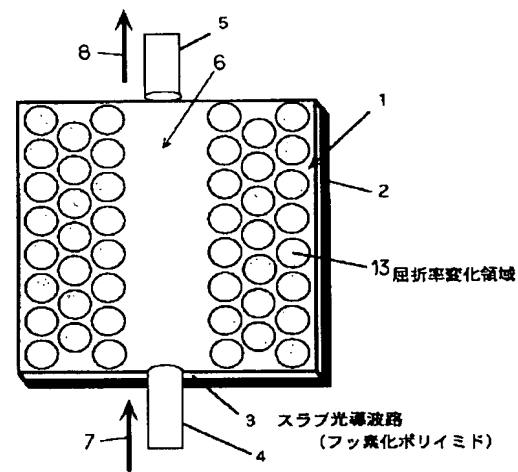
【図 3】

図 3



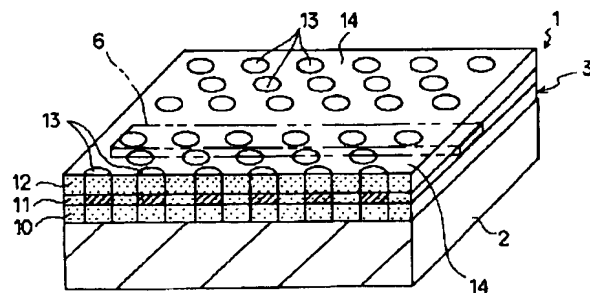
【図 5】

図 5



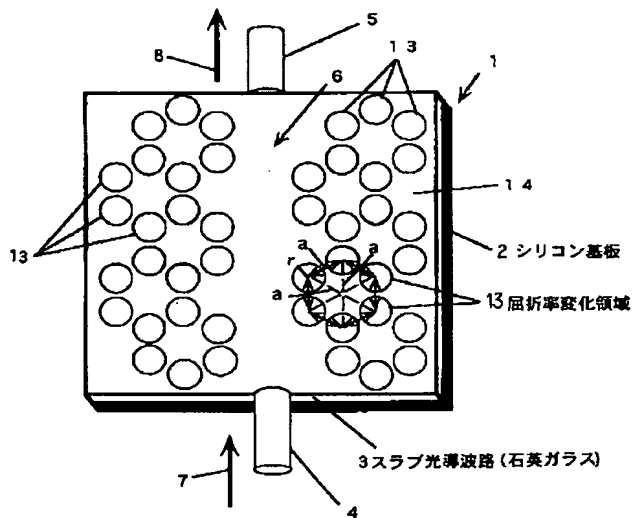
【図 6】

図 6



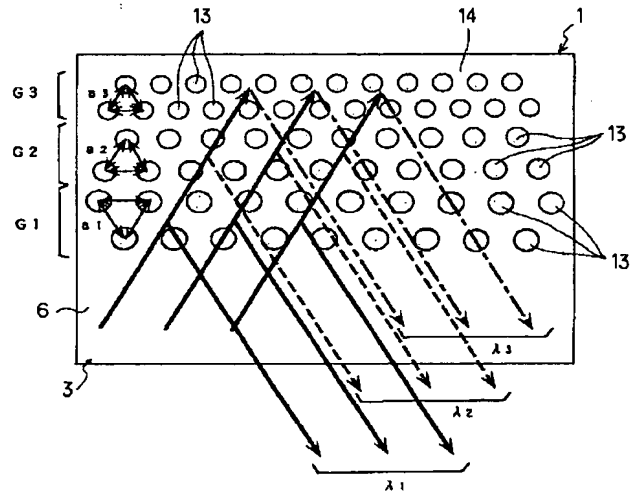
【図 7】

図 7



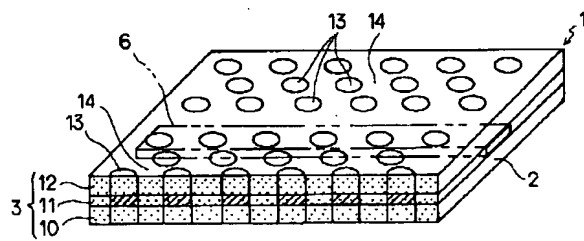
【図 8】

図 8



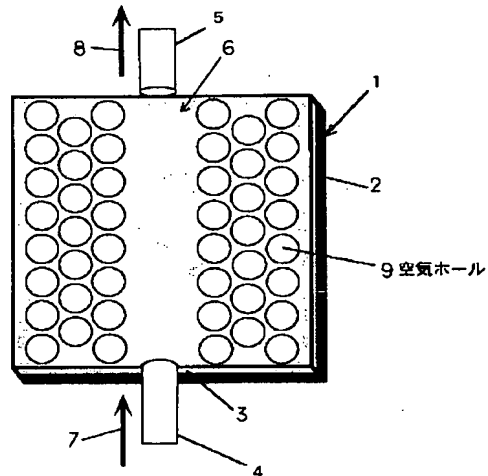
【図 9】

図 9



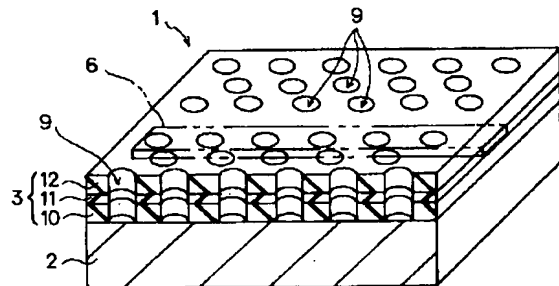
【図 10】

図 10



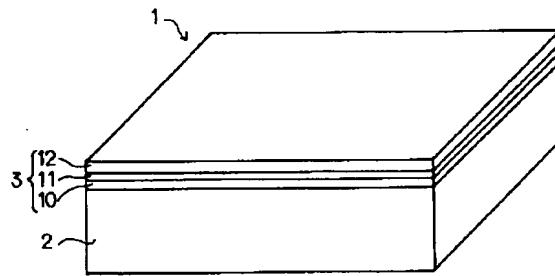
【図 11】

図 11



【図 1 2】

図 1 2





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKewed/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**